



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



POROVNÁNÍ METOD PRO TESTOVÁNÍ PROPUSTNOSTI PRO VODNÍ PÁRY

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství
Autor práce: **Bc. David Macoun**
Vedoucí práce: Ing. Tereza Heinisch





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering



COMPARASION OF METHODS FOR TESTING WATER VAPOUR PERMEABILITY

Diploma thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering
Study branch: 3901T073 – Product Engineering

Author: **Bc. David Macoun**
Supervisor: Ing. Tereza Heinisch



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David Macoun**
Osobní číslo: **T12000459**
Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**
Studijní obor: **Produktové inženýrství**
Název tématu: **Porovnání metod pro testování propustnosti pro vodní páry**
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracujte rešerši na testování propustnosti pro vodní páry.
2. Navrhněte experiment pro otestování paropropustnosti outdoorových materiálů - zaměřte se na různé klimatické podmínky měření.
3. Na základě výsledků experimentu jednotlivé způsoby měření porovnejte a vyhodnoťte.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

HEMZAL, Karel. Přenosové jevy v technice prostředí. 2.vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2007. ISBN 80-01-02924-4

HES, Luboš - SLUKA, Petr. Úvod do komfortu textilií. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-926-0 (brož.).

ISO 11092, 1993. Textiles - Physiological effects: Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test). Switzerland: International organization for standardization.

ŠESTÁK J., Rieger F. Přenosové jevy I - Přenos tepla. Skriptum ČVUT, Praha 1972.

ŠESTÁK J. Přenosové jevy II - Přenos hmoty. Skriptum ČVUT, Praha 1980.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tereza Heinisch

Katedra hodnocení textilií

Datum zadání diplomové práce:

1. října 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2014

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



doc. Ing. Vladimír Bajžák, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 3. února 2014

Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní
Katedra hodnocení textilií

V Liberci dne 15.5.2014

Žádost o změnu termínu odevzdání diplomové práce

Žádám o změnu termínu odevzdání diplomové práce z května 2014 na prosinec 2014.

Důvod odkladu: *Doplnění statistického zpracování dat*

Děkuji za vyřízení

David Macoun
jméno studenta *Macoun*

Vyjádření vedoucího práce:

Godkovič
He

Vyjádření vedoucího katedry:

Soublas!
Bgl

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Touto formou bych rád poděkoval vedoucí své diplomové práce Ing. Tereze Heinisch za věnovaný čas, odbornou pomoc a připomínky při psaní diplomové práce. Dále bych rád poděkoval prof. Ing. Luboši Hesovi, DrSc. za poskytnutí materiálů, dokumentů a rad při průběhu testování.

Mé díky patří také Ing. Romanu Knížkovi a firmě Alpine Pro s.r.o. za poskytnuté materiály k testování. V neposlední řadě patří také poděkování mé rodině, která mi byla oporou po celou dobu mého studia.

ANOTACE

Tato předkládaná diplomová práce se zabývá porovnáním dostupných metodik pro testování propustnosti textilií pro vodní páry. Hlavním cílem práce je otestovat vliv klimatických podmínek nastavených dle asijských, amerických a evropských norem na výši paropropustnosti textilií, které standardně používají výrobci outdoorových materiálů a oděvů. Textilie byly testovány na zařízení Permetest dle evropské normy ISO 11092 a následně v klimatické komoře Vötsch, kde bylo možné nastavit různé klimatické podmínky. Všechna měření byla prováděna v laboratořích Katedry hodnocení textilií Technické univerzity v Liberci. V práci je vyhodnocen vliv teploty a relativní vlhkosti doby měření na výsledné hodnoty paropropustnosti za 24 hodin.

KLÍČOVÁ SLOVA: technické normy, komfort textilií, termofyziologický komfort, paropropustnost, Permetest, klimatická komora Vötsch

ANNOTATION

This presented diploma thesis deals with the comparison of available methodologies for testing permeability for water vapour of fabrics. The aim of this diploma thesis is to test the influence of climatic conditions set according to Asian, American and European standards on the amount of water vapour permeability of fabrics that are commonly used by manufacturers of outdoor materials and clothing. The fabrics were tested on the Permetest according to European standards ISO 11092, afterwards in the Vötsch climatic chamber in which was possible to set different climatic conditions. All measurements were performed in the laboratories of the Department of Textile Evaluation at the Technical University in Liberec. Finally, the influence of temperature and relative humidity during the measurement on the resultant values of vapor permeability for 24 hours is evaluated in this diploma thesis.

KEY WORDS: : technical norms, comfort of textiles, thermo-physiological comfort, water vapor permeability, Permetest, climatic chamber Vötsch

OBSAH:

Úvod	15
TEORETICKÁ ČÁST.....	17
1. Technické normy.....	17
1.1 Mezinárodní a regionální normy ISO a EN	18
1.2 České technické normy	19
2. Metody testování propustnosti pro vodní páry a dostupné technické normy	22
2.1 Norma JIS 1099 – A1	23
2.2 Norma JIS 1099 L – A2.....	23
2.3 Norma JIS 1099 – B1	24
2.4 Norma JIS 1099 – B2	24
2.5 Norma ISO 11092.....	25
2.6 Norma ASTM E-96	25
2.7 Zjišťování relativní propustnosti vodních par dle normy ČSN 80 0855 - Gravimetrická metoda	26
3. Současný stav měření paropropustnosti ve světě	28
4. Komfort.....	30
4.1 Oděvní komfort psychologický	30
4.2 Fyziologický komfort	31
4.3 Senzorický komfort	33
4.3.1 Vnímání senzorického komfortu podkožními snímači.....	34

5. Termofyziologický komfort oděvů	36
5.1 Optimální podmínky termofyziologického komfortu.....	37
5.2 Termoregulace	38
5.3 Termoregulační systém lidského těla	39
5.4 Přenos tepla mezi člověkem a okolím	40
5.4.1 Přenos tepla vedením (kondukcí)	40
5.4.2 Přenos tepla prouděním (konvekci)	42
5.4.3 Přenos tepla zářením (radiací)	43
5.4.4 Přenos tepla odpařováním (evaporací)	44
5.4.5 Přenos tepla dýcháním (respirací).....	44
5.5 Výpočet termofyziologických vlastností z naměřených hodnot.....	45
5.5.1 Stanovení relativní paropropustnosti	45
5.5.2 Stanovení výparného odporu	45
5.5.3 Stanovení tepelného odporu.....	45
6. Přenos vlhkosti	46
6.1 Difúze vodních par ve vzduchu	46
6.2 Přenos vlhkosti konvekci.....	48
6.3 Adiabatické odpařování	49
7. Metody hodnocení termofyziologického komfortu oděvů	50
7.1 Měření pomocí přístroje Alambeta.....	50
7.2 Stanovení parametrů termofyziologického komfortu pomocí SKIN MODELU	52
7.2.1 Zkouška za stacionárních podmínek.....	52
7.2.2 Zkouška za nestacionárních podmínek	53
7.3 Měření pomocí přístroje Permetest.....	53
7.4 Metoda Dreo	55
7.5 Klimatická komora Vötsch.....	55

PRAKTICKÁ ČÁST	57
8. Prováděný experiment	57
8.1 Nastavené klimatické podmínky měření	58
8.2 Měření prováděná na přístroji PERMETEST	59
8.2.1 Vyhodnocení výsledků měření prováděných na přístroji Permetest ...	61
8.3 Měření prováděná v klimatické komoře Vötsch.....	62
8.3.1 Hodnoty propustnosti vodní páry skrz textilie při testování dle normy ASTM E-96 - $t = 23^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 50 \pm 2\%$	63
8.3.2 Hodnoty propustnosti vodní páry skrz textilie dle normy ISO 11092 – t $= 35^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 40 \pm 2\%$	67
8.3.3 Hodnoty propustnosti vodní páry skrz textilie při změněných klimatických podmínkách - $t = 23^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 40 \pm 2\%$	71
8.4 Vyhodnocení výsledků měření prováděných v klimatické komoře Vötsch	75
9. Vyhodnocení diplomové práce	83
Závěr	87
Seznam zdrojů a použité literatury:.....	89
Příloha.....	90

Seznam zkratk:

Zkratka	Jednotka	Popis
a	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	měrná teplotní vodivost
A_{CL}	$[m^2]$	plocha děvu
ASTM		The American Society for Testing and Materials
b	$[W \cdot m^{-2} \cdot s^{1/2} \cdot K^{-1}]$	tepelná jímavost
BS		britská technická norma, britský standard
c	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost elektromagnetického vlnění
C	$[kg \cdot m^{-3}]$	koncentrace
Ca		vápník
CEN		Evropská komise pro technickou normalizaci
cm		centimetr
CO ₂		oxid uhličitý
č.		číslo
ČR		Česká republika
ČSN		česká technická norma
ČSNI		Český (československý) normalizační institut
d	[m]	průměr
D	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	difuzivita
DIN		německá technická norma
DWR		durable water repellent (vodoodpudivá úprava textilie)
EN		evropská norma
EU		Evropská unie
EUV		extrémně ultrafialové záření
f	[Hz]	frekvence
h	[m]	tloušťka
ISO		International Organization for Standardization (mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem)

JIS		Japanese Industrial Standard (japonské průmyslové normy)
K		draslík
m	$[\text{kg.s}^{-1}.\text{s}^{-2}]$	difúze vodních par
m_a	$[\text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}]$	hmotnostní tok vzduchu
m_D	$[\text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}]$	hmotnostní tok páry
mg		miligram
Mg		mangan
n	[m]	normála
NaCl		chlorid sodný
obr.		obrázek
ON		Oborová norma
ÖNORM		rakouská technická norma
p	[Pa]	tlak
p'	[%]	relativní paropropustnost textilií
P_a	[Pa]	parciální tlak vodní páry
P_{asb}	$[\text{kg.m}^{-2}.\text{hod}]$	absolutní paropropustnost
P_m	[Pa]	parciální tlak páry ve stavu nasycení
PN		podniková norma
P_{rel}	[%]	relativní paropropustnost
PTFE		polytetrafluorethylen
q	$[\text{W.m}^{-2}]$	tepelný tok
Q^*	[W]	tepelný výkon procházející oděvem
r	$[\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}]$	plošný odpor vedení tepla
R	$[\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}]$	tepelný odpor deskových materiálů
R_{CL}	$[\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}]$	celkový odpor
R_{ct}	$[\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}]$	tepelný odpor
R_e	[-]	Reynoldsovo číslo
R_E	$[\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$	odpor mezní vrstvy
R_{et}	$[\text{m}^2.\text{Pa}^1.\text{W}^{-1}]$	výparný odpor
RH		relative humidity (relativní vlhkost)
R_n	$[\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}]$	jednotlivé odpory vrstev
RTG		rentgenové záření

R_{TOT}	$[m^2.K.W^{-1}]$	totální odpor
S	$[m^2]$	plocha
Sb.		sbírka
SC		Subkomise
STN		slovenská technická norma
t	$[^{\circ}C]$	teplota
tab.		tabulka
TC		Technická komise
t_m	$[^{\circ}C]$	teplota mokrého teploměru
t_p	$[^{\circ}C]$	povrchová teplota volné vodní hladiny
t_w	$[^{\circ}C]$	teplota vody
USA		United states of America
UV		ultrafialový
ÚNMZ		Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
v	$[m.s^{-1}]$	rychlost
v_s	$[m.s^{-1}]$	střední hodnota rychlosti proudění kapaliny
w'	$[m.s^{-1}]$	rychlost vracejícího se vzduchu
WG		Pracovní skupina
α_C	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$	lineární koeficient přestupu tepla zářením
β	$[kg.m^{-2}.s^{-1}]$	součinitel přenosu hmoty
δ	$[m]$	tloušťka
ε	$[-]$	povrchová emisivita
λ	$[W.m^{-1}.K^{-1}]$	měrná tepelná vodivost
ν	$[m^2.s^{-1}]$	dynamická viskozita tekutiny
ρ_a	$[kg.m^{-3}]$	hustota
σ	$[-]$	radiační konstanta
φ	$[\%]$	relativní vlhkost vzduchu

ÚVOD

V současné době nalezneme na trhu s oblečením velké množství výrobků z různých druhů textilií. Lidé při výběru oblečení pokládají za důležité především estetické vlastnosti, vzor, materiál, ale také fyzikální vlastnosti jako např. odolnost v oděru, omak, tepelně izolační vlastnosti ad. Dalšími měřítky kvality oblečení jsou například způsob údržby a životnost výrobku. Tyto vlastnosti musí být nutně doplněny o určitý komfort při nošení, který je uživateli vnímán jako „pohodlnost při nošení.“

Velké oblibě se v současnosti těší tzv. outdoorové oblečení, jež je často označováno jako tzv. funkční. Jedná se především o sportovní bundy, kalhoty, vesty apod. Textilní materiály pro výrobu outdoorového oblečení se také používají pro výrobu spacáků, stanů a dalších komponentů do přírody. Pro výše popisované materiály je velmi důležitý termofyziologický komfort definovaný tepelným odporem, výparným odporem a paropropustností projevující se především při pohybu a větší fyzické aktivitě člověka.

V teoretické části, konkrétně v kapitole 1, jsou charakterizovány základní technické normy. Kapitola 2 uvádí rozdělení metod pro testování paropropustnosti a stručný popis technických norem použitých v experimentální části práce. Následující kapitola 3 obsahuje rešerši o měření paropropustnosti dle aktuálních celosvětových měřítek. V kapitole 4 a 5 je definován komfort, jeho rozdělení a dále podrobněji zpracována problematika zabývající se termofyziologickým komfortem, který úzce souvisí s kapitolou následující, v níž jsou popsány jevy spojené s přenosem vlhkosti. V závěru teoretické části (kapitola 7) jsou popisovány metody hodnocení termofyziologického komfortu plošných textilií.

V experimentální části jsou nejprve charakterizovány jednotlivé druhy použitých textilií a stanoven jejich výparný odpor na přístroji Permetest. Kategorizací výsledků měření výparného odporu byli následně vybráni 4 zástupci jednotlivých kategorií, pro něž byla dále provedena měření paropropustnosti pomocí klimatické komory Vötsch při daných klimatických podmínkách. Získané výsledky byly zpracovány a následně statisticky vyhodnoceny.

Pro experimenty byly použity také textilie asijského původu. Paropropustnost těchto textilií bývá standardně testována dle asijských či amerických norem, převážně dle norem JIS 1099 a ASTM E-96. Paropropustnost textilií v Evropě bývá nejčastěji testována dle normy ISO 11092. V práci jsou provedena měření za podmínek odpovídajících příslušným normám a dále za podmínek kombinující výše uvedené normy.

Základním cílem diplomové práce je vyhodnocení paropropustnosti u vybraných materiálů při daných klimatických podmínkách, které jsou definovány v dostupných technických normách, a vyhodnocení vlivu změny klimatických podmínek na výši propustnosti textilie pro vodní páry. Vliv změny teploty a vliv změny relativní vlhkosti je graficky a statisticky vyhodnocen pro každou ze čtyř testovaných textilií. Následná propustnost pro vodní páry při změně teploty či relativní vlhkosti je vyjádřena pomocí velikosti absolutních a relativních změn. Nastavení hodnot teploty a relativní vlhkosti pro účely experimentu se řídilo informacemi přímo od asijských výrobců materiálů.

Dílčím cílem práce je vyhodnocení vlivu doby měření na výslednou hodnotu paropropustnosti za 24 hodin. V jednotlivých normách je totiž většinou uvedena pouze minimální doba měření, dle které se pak vypočítává množství páry prošlé skrz textilii za 24 hodin. Vzhledem k tomu, že každý výrobce si tak může měření ukončit po jakékoliv době, je třeba zjistit, zda tento faktor významně neovlivňuje konečné hodnoty měření.

TEORETICKÁ ČÁST

1. Technické normy

Technické normy jsou dokumenty, které stanovují technické záležitosti nebo technická řešení u opakovaných úkonů, respektive dějů, např. při hromadné výrobě.

Jsou to předpisy nezávazné, které však lze stanovit závaznými, a to:

- *právním předpisem,*
- *uvedením ve smlouvě.*

Technické normy můžeme nejnázorněji rozčlenit podle jejich úrovně, která je v podstatě vyjádřením jejich rozšíření, a tedy použitelností v obchodních vztazích na:

- *mezinárodní a regionální* – ISO (mezinárodní organizace pro normalizaci), EN (evropská norma),
- *národní* – ČSN (česká technická norma), STN (slovenská technická norma), BS (britská technická norma, britský standard), DIN (německá technická norma), ÖNORM (rakouská technická norma), ASTM (americká technická norma) atd.,
- *podnikové* – platné v rámci podniku, ale také mezi podniky při uzavírání kupních smluv a dohod o zajišťování jakosti, např. PN (podniková norma), TP (technické předpisy) atd.,
- *oborové, odvětvové* – vyskytují se omezeně, protože oborové normy byly zákonem zrušeny (k 1. 1. 1993).

Méně časté je členění technických norem z hlediska jejich obsahu, a to na:

- *předmětové* – specifikují na úrovni národních norem některé základní materiály a na úrovni podnikových norem jednotlivé výrobky,
- *zkušební metody* – stanovují postupy zkoušek, zkušební zařízení a podmínky provádění zkoušek,
- *terminologické* – sjednocují názvosloví jednotlivých (výrobních) oborů,
- *předpisové* – definují např. matematické značky, ale také statistické metody, hodnoty a symboly ošetřování textilních výrobků. [6]

1.1 Mezinárodní a regionální normy ISO a EN

ISO je celosvětovou federací národních normalizačních organizací (členů ISO). Na mezinárodních normách obvykle pracují technické komise ISO. Každý člen ISO, který se zajímá o nějaké téma (námět), pro který byla vytvořena technická komise, má právo být zastoupen v této technické komisi. Práce se zúčastňují i mezinárodní organizace vládní a nevládní, s nimiž ISO navázala pracovní styk.

Návrhy mezinárodních norem přijaté technickými komisemi se rozesílají členům ISO k hlasování. Vydání mezinárodní normy vyžaduje souhlas alespoň 75 % hlasujících členů.

Mezinárodní normu ISO vypracovává Technická komise ISO/TC nebo příslušná subkomise - SC. Oblast textilu je řízena Technickou komisí ISO/TC38 TEXTIL. Organizace ISO požaduje, aby všechny její normy byly revidovány každých pět let.

Činnost technické normalizace v Evropské unii řídí Evropská komise pro technickou normalizaci (CEN). Jednotlivé odborné oblasti jsou zpracovávány technickými komisemi (TC), subkomisemi (SC) a pracovními skupinami (WG). Pro textil je utvořena TC 248, ale textilní výrobky se objevují i v jiných TC, např. textilní tapety jsou řešeny v TC 99, podlahové textilie v TC 134 a geotextilie v TC 189. Jedná se o organizaci tvorby technických norem obdobnou, jako je u ISO.

Členské státy Evropské unie mají za povinnost evropské normy vydané CEN do 6 měsíců zavést do svých národních norem a původní národní normy, které kolidují s aktuálními evropskými normami, zrušit. Platí, že evropské normy jsou nezávazné, pokud na ně není odkaz ve směrnici Evropské unie.

Rovněž Česká republika má jako řádný člen CEN povinnost vydané evropské normy zavést do soustavy ČSN. Značení převzatých evropských norem se provádí stejně jako ve všech státech Evropské unie, a to v podobě ČSN EN a číslo evropské normy. [6]

Obsahem evropských norem jsou:

- *zkušební metody* – přebírající normy ISO; z textilních norem jde zejména o stálobarevnost,
- *předmětové normy* – v textilu jen ojediněle (např. pro textilní tapety a pro podlahové textilie). Je však velká řada předmětových norem v tzv. regulované oblasti, jako jsou hračky a osobní ochranné prostředky.
- *předpisové normy* – značí se např. ČSN EN ISO 10320 "Geotextilie a výrobky podobné geotextiliím – Identifikace na staveništi".

1.2 České technické normy

ČSN jsou zařazeny a seřazeny systematicky podle šestimístního třídícího znaku, ve kterém značí:

- první dvojčíslí – třídu norem,
- druhé dvojčíslí – skupinu,
- třetí dvojčíslí – pořadové číslo ve skupině.

Podle této zásady je každoročně vydáván a Věstníkem ÚNMZ měsíčně aktualizován seznam českých technických norem (aktuální stav lze rovněž nalézt na www.csni.cz). Z hlediska textilního zaměření práce je v této souvislosti důležité zmínit třídu 80, ve které jsou uvedeny textilní normy a třídu 81, jejímž obsahem jsou stroje a zařízení textilního průmyslu.

Význam třídícího znaku se stává podstatným při začleňování přejímaných evropských norem a norem ISO do soustavy ČSN (bez tohoto třídícího znaku, uváděného v závorce pod označením EN a normy ISO, by nebyly tyto normy k nalezení).

Organizační rámec

Oblast technické normalizace (i metrologie a státního zkušebnictví) řídí Ministerstvo průmyslu a obchodu prostřednictvím Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví a zejména Českým normalizačním institutem. [6]

Český normalizační institut:

- Řídí tvorbu a distribuci technických norem.
- Poskytuje ve svém informačním oddělení následující služby (viz www.csni.cz):
 - půjčuje ČSN a dokumenty, na které nejsou uplatňována autorská práva,
 - prodává zahraniční normy a dokumenty,
 - prodává databáze: Seznam českých norem, Knihovnu norem, Seznam podnikových norem, Seznam názvů evropských norem a harmonizovaných dokumentů, Seznam názvů norem DIN apod.,
 - vytváří rešerše z databází PERINORM, JUSTIS, STANDARDS, INFODISK,
 - sleduje přírůstky mezinárodních a evropských norem v určitém oboru,
 - informuje o plánu technické normalizace, zpracovává zahraniční, mezinárodní a evropské normy a dokumenty,
 - umožňuje studium norem a dokumentů ve studovně ČSNi apod. [6]

Technické normy jsou přejímány do soustavy ČSN nejčastěji třemi způsoby, a to:

- **překladem (cca 60% z celkového objemu převzatých norem)**
 - tzn., že v české normě následuje za národní titulní stranou (či stranami), která je opatřena potřebnými informacemi v českém jazyce, text v českém jazyce, který je doplněný v případě potřeby o národní přílohu
- **převzetím originálu**
 - tzn., že v české normě následuje za národní titulní stranou (či stranami), která je opatřena potřebnými informacemi v českém jazyce, text anglického (či francouzského) originálu doplněný v případě potřeby o národní přílohu
- **schválením k přímému používání**
 - tzn., že používání evropské normy je vyhlášeno ve Věstníku ÚNMZ (Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví) a pokud zákazník normu požaduje, obdrží text anglického originálu vložený v obálce s názvem a označením normy v českém jazyce [7]

Právní předpisy pro oblast technické normalizace v ČR:

- zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky v platném znění (stanoví postup zpracování a schvalování technických norem),
- navazující nařízení vlády (pro jednotlivé sortimenty i skupiny výrobků regulované oblasti). [6]

2. Metody testování propustnosti pro vodní páry a dostupné technické normy

Dělení:

- gravimetrické metody,
- metody založené na měření pomocí SKIN modelu (modelu lidské kůže).

Gravimetrické metody

Mezi nejstarší způsoby testování, které se k hodnocení propustnosti pro vodní páry používají, patří metody, které zjišťují množství páry v gramech, jež projde danou textilií za daný časový interval (respektive jsou založeny na měření úbytku vlhkosti). Všechny tyto metody vychází především z norem ČSN 80 0855, BS 7209, ČSN 770322, ČSN ISO 15496, JIS L 1099 - A1, A2, ASTM E-96.

Dle způsobu testování je můžeme rozdělit na metodu se sorbentem, metodu klasickou a tzv. invertovanou metodu. U metody se sorbentem se zjišťuje množství páry absorbované silikagelem (ČSN 80 0855, 1976), u klasické metody se měří množství vodní páry prošlé skrz textilií (BS 7209, 1990). U metody invertované se také zjišťuje množství vodní páry prošlé skrz textilií, ale celý systém je při testování otočen, čímž se odstraní vliv vzduchové mezery. [2]

Metody založené na měření pomocí SKIN modelu (modelu lidské kůže)

Měření na základě těchto metod se provádí na přístrojích, které simulují lidskou kůži. Mezi takovéto přístroje patří např. Permetest – přístroj patentovaný prof. Hesem z Technické univerzity v Liberci (viz kapitola 7.3) a přístroj zvaný „velký SKIN model.“

Základem obou těchto přístrojů je vyhřívaná a zavlhčovaná porézní deska označovaná jako „model lidské kůže.“ Tato deska slouží k simulaci procesů přenosu tepla a hmoty, ke kterým dochází mezi lidskou pokožkou a okolím. [2]

Měření zahrnuje buď přenos jeden, nebo přenosy oba a provádějí se buď každý zvlášť, nebo při měnících se vnějších podmínkách. Ty zahrnují kombinaci různých teplot, relativních vlhkostí a rychlostí proudění vzduchu. Hodnoty, které vzejdou z měření, mohou odpovídat jak rozdílným ustáleným, tak i proměnlivým okolním podmínkám nošení oděvu. [2]

2.1 Norma JIS 1099 – A1

Zkušební metoda propustnosti vodní páry

Princip této metody spočívá v tom, že se vystřihnou tři kruhové zkušební vzorky, každý o průměru 7 cm, a to z látky, která má být testována. Do připraveného kelímku se pomocí injekční stříkačky aplikuje takové množství vody, aby byl kelímek zaplněn přibližně 3 mm od horního okraje misky. Poté se voda v šálku zahřeje přibližně na 40°C, aby mohlo dojít k propustnosti vodní páry. Ke zkušebnímu vzorku se připojí těsnicí kroužek a upevní se pomocí křídlové matice. Poté se pomocí ucpávek nebo kroužku utěsní poslední zbylá místa, aby nedocházelo k propustnosti vodní páry mimo vzorek. Vytvořené zkušební těleso se vloží do termo-hydrostatu při následujících hodnotách: teplotě - 40 \pm 2°C, relativní vlhkosti vzduchu -90 \pm 5%. Po 1 hodině se zkušební těleso vyjme a ihned se změří jeho hmotnost A_1 (mg). Po zvážení se navrátí zkušební těleso opět do termo-hydrostatu. Po další hodině se těleso opět vyjme a zváží se hmotnost tělesa A_2 (mg). Při měření dle metody A1 je nutné, aby byl do vody v kelímku přidán roztok chloridu vápenatého, který má během experimentu nahrazovat pot lidského těla.

2.2 Norma JIS 1099 L – A2

Princip této metody je obdobný jako u metody A1, zde se ovšem k simulaci potu lidské kůže místo roztoku chloridu vápenatého používá pouze voda.

2.3 Norma JIS 1099 – B1

Zkušební metoda octanu draselného

Princip zkušební metody octanu draselného je ten, že se nejprve vystříhnou tři zkušební vzorky (každý o rozměrech 20 x 20 cm) z látky, která má být testována. Zkušební vzorky se umístí do nádrže, která obsahuje vodu. Uvnitř nádrže je třeba udržovat konstantní teplotu přibližně 23°C a cirkulující vzduch o teplotě $30 \pm 2^\circ\text{C}$. Dále se zkušební vzorek připojí ke vzorku na nosném rámu s gumovým páskem tak, že zadní plocha se zkoušeným vzorkem ční vně nosného rámu. Zkušební vzorek se upevní na nosný rám tak, že plave v nádrži s vodou. Do kelímku, na němž je zkušební vzorek upevněn pomocí gumičky, se vlije takové množství roztoku octanu draselného o teplotě přibližně 23°C, aby dosahovalo 2/3 jeho úrovně. Dále se gumičkou připojí pomocná vrstva pro měření propustnosti vodních par, v tomto případě polopropustná membrána, a připraví se zkušební těleso. Nejprve se provede první měření hmotnosti A_1 (mg) zkušebního tělesa s textilní vrstvou vystavenou stranou nahoru. Ihned poté se těleso otočí a měří se spolu se zkoušeným vzorkem nosného rámu. Po 15 minutách se testovací těleso vyjme a provede se měření hmotnosti tělesa A_2 (mg). Při použití této metody je nutné dodržet podmínku, že membrána na zkušebním vzorku musí být v přímém kontaktu s vodou.

2.4 Norma JIS 1099 – B2

Princip měření dle této normy je opět stejný jako u normy JIS 1099 B1. Rozdíl je zde ve složení zkušební sestavy. Mezi membránu a vodu je vložena tenká vrstva PTFE (Teflon a Gore-tex), která eliminuje vliv přímého styku textilie s vodou. Když vodní pára, která má simulovat pot lidské kůže, kondenzuje na vnitřní straně látky s hydrofobním laminátem, laminát aktivně vytahuje vodu skrz látku snížením kondenzace. To může být pro uživatele oblečení z dané látky velmi pohodlné. Měření dle normy JIS 1099 – B2 je výhodnější pro nevodotěsné látky, protože voda v kelímku neprochází přímo skrz nepotažené textilie.

2.5 Norma ISO 11092

Metody měření uvedené v této normě platí například pro tkaniny, fólie, nátěry, pěny, kůže a podobné textilie včetně vícevrstevných sestav, které se používají pro výrobu oblečení, dek, spacích pytlů, čalounění a obdobných textilních výrobků.

Použití je omezeno na maximální tepelnou odolnost a odolnost pro vodní páru, která závisí na rozměrech a konstrukci použitého zařízení, např. $2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ a $700 \text{ m}^2 \cdot \text{Pa/W}$ v pořadí vlastností výše uvedených.

Testovaný vzorek se umístí na elektricky vyhřívanou desku s ustálenou rychlostí proudícího vzduchu kolem horního okraje misky. Pro stanovení tepelného odporu je nutné, aby byl tepelný tok skrz testovaný vzorek změřen poté, co bude dosaženo ustálených klimatických podmínek. Princip měření, který je popsán v této mezinárodní normě, umožňuje výpočet tepelného odporu R_{et} . Výpočet se provádí na základě rozdílu tepelného odporu hraniční vrstvy vzduchu v prostoru nad zkušebním vzorkem a hraniční vrstvy vzduchu v prostoru pod zkušebním vzorkem. Oba tepelné odpory jsou měřeny při stejných klimatických podmínkách. Pro stanovení odporu vodní páry je elektricky vyhřívaná porézní deska pokryta vodní parou propustnou, ale vodou nepropustnou membránou. Voda přiváděná na vyhřívanou desku se vypařuje a prochází skrz membránu jako pára tak, že voda nepřichází do kontaktu se zkušebním vzorkem. Pomocí zkušebního vzorku umístěného na membráně může být tepelný tok při zachované konstantní teplotě na desce měřítkem pro hodnotu odpařování vody. Výsledná hodnota je určena z odporu vodní páry zkušebního vzorku.

2.6 Norma ASTM E-96

Principem testování dle normy ASTM E-96 je získat pomocí jednoduchého zařízení spolehlivé hodnoty prostupu vodních par, a to přes propustné a polopropustné materiály vyjádřené v jednotkách uvedených v dané normě.

Zkušební metoda zahrnuje stanovení přenosu vodní páry skrz materiály, jako jsou např. papír, plastové fólie, dřevovláknité desky, sádry a sádrové výrobky, výrobky ze dřeva a plasty.

Tyto metody jsou omezeny na materiály, které nejsou v průměru větší než 32 mm v tloušťce. Pro měření se jako standardy používají hodnoty buď uváděné v jednotkách SI, nebo se užívá palec či libra. Hodnoty uvedené v daných soustavách (SI nebo jiná) si nemusí přesně odpovídat. Hodnoty musí být v každé soustavě vypočteny a použity samostatně, nezávisle na ostatních. Pokud by se kombinovaly hodnoty ze dvou soustav, pravděpodobně by došlo k neshodám s normou. Metody měření se rozdělují na metodu obsahující vysoušedlo ve vodě a metodu pouze s vodou.

V obou výše uvedených metodách měření je základem kelímek s vodou a zkušební vzorek textilie, který je na horní straně kelímku utěsněn gumičkou. Celá tato sestava je pak umístěna do kontrolovaného klimatického prostředí. Pravidelné vážení určuje hodnotu propustnosti vodní páry skrz textili. Rozdíl tlaku vodní páry je nominálně stejný v obou metodách (kromě případu extrémních rozdílů vlhkosti na obou stranách zkušební vzorku). Odlišnost u daných metod měření je v tom, že ve vodní metodě obsahuje kelímek pouze destilovanou vodu, přičemž ve vysoušecí metodě je v kelímku s vodou obsaženo určité množství vysoušedla.

2.7 Zjišťování relativní propustnosti vodních par dle normy ČSN 80 0855 - Gravimetrická metoda

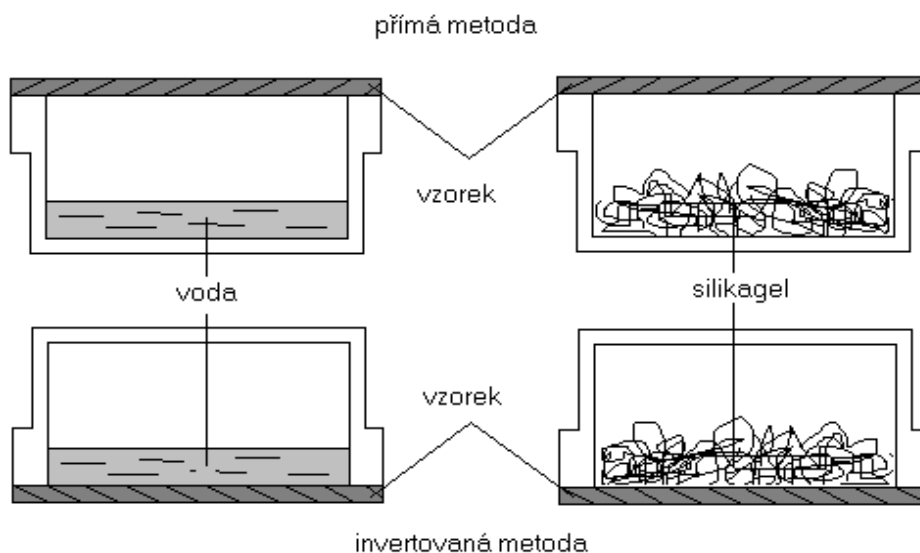
Tato metoda zjišťuje relativní propustnosti vodních par dle normy ČSN 80 0855. Kruhový vzorek se umístí na lehkou hliníkovou misku, která obsahuje silikagel neboli vysoušedlo. Miska se vzorkem se zváží před (G_0 [g]) a po (G_1 [g]) expozici v klimatické skříni. Účelem použití klimatické skříně je dodržení stálých podmínek: teploty $20 \pm 2^\circ\text{C}$, relativní vlhkosti $60 \pm 2\%$ a maximální rychlosti proudění vzduchu $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Relativní paropropustnost (P_{rel}) se vypočítá pomocí následujícího vztahu:

$$P_{rel} = (G_1 - G_0) / G_0 \quad [\%] \quad (1)$$

Můžeme také vypočítat absolutní paropropustnost (P_{abs}), a to dle vztahu:[2]

$$P_{abs} = (G_1 - G_0) / S \cdot \tau \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}] \quad (2)$$

Z důvodu časově nelineární sorpce vysoušedla je tato metoda považována za zdoluhavou a nepřesnou, a proto se často od této metody opouští. Podobně se opouští od starší přímé metody, kde byl vážením zjišťován úbytek vody v misce překryté vzorkem a vystavené proudu vzduchu o rychlosti 1 m/s. Obě metody lze provést i v obráceném provedení. Gravimetrické metody měření propustnosti textilií pro vodní páry jsou uvedeny na obr. 1. [2]



Obr. 1 Gravimetrické metody měření propustnosti textilií pro vodní páry[2]

3. Současný stav měření paropropustnosti ve světě

Outdoorové oblečení je v současnosti velmi populárním zbožím na světových trzích, a tudíž jsou na něho kladeny vysoké nároky. Vědci v nejrůznějších státech světa zkoumají termofyziologické vlastnosti textilií. Jednou z nich je i paropropustnost, vlastnost zkoumaná v praktické části této diplomové práce. Pro hlubší orientaci v problematice je předkládán stručný výtah odborného článku čínských vědců, kteří prováděli měření paropropustnosti obdobným způsobem, jaký byl použit v experimentální části této diplomové práce. Článek vyšel v podobě knižní publikace v roce 2011.

Effects of air temperature, relative humidity, and wind speed on water vapor transmission rate of fabrics (originální název článku)

Vliv teploty proudění vzduchu, relativní vlhkosti a rychlosti větru o propustnosti vodních par textilií

Autoři: Huang, J. , Chen, Y.

School of Textile and Material, Wuhan University of Science and Engineering, Wuhan, Hubei 430073, China

Článek pojednává o testování propustnosti vodních par textiliemi při různých kombinacích teplot, relativních vlhkostí a rychlostí větru. Tato nová zkušební metoda byla použita k měření prostupu vodní páry skrz čtyři konkrétní druhy textilií, které byly vystaveny 120 různým kombinacím klimatických podmínek. Teplota vzduchu se pohybovala od 10°C do 30°C v 5°C intervalech. Relativní vlhkost se pohybovala v rozmezí od 0% do 50% a rychlost větru byla 0,1 m/s až 0,4 m/s. V rámci testování byl dokázán vliv kvantifikovatelných vlivů teploty vzduchu, relativní vlhkosti a rychlosti větru na paropropustnost textilií.

Výsledky ukázaly, že kombinace vysoké teploty vzduchu, nízké relativní vlhkosti vzduchu a vysoké rychlosti větru vedla k vysoké propustnosti vodní páry textiliemi. Exponenciální rovnice byly získány z celé databáze výsledků založených na základě mnohonásobné nelineární regresní analýzy, což mělo za následek obecný kvantitativní popis různých účinků na propustnost vodní páry přes tkaniny. Předpověď kvality výpočtu byla dobrá, jelikož regresní rovnice byly zajištěny vysokými korelačními koeficienty a nízkými standardními chybami odhadu. Předpovídané hodnoty regresních rovnic odpovídaly naměřeným výsledkům.

4. Komfort

Komfort lze definovat několika různými způsoby. Zjednodušeně ho lze charakterizovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů či ho lze chápat jako stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce organismu v optimu, a kdy okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly. Subjektivně je tento pocit brán jako pocit pohody. Nepřevládají pocity tepla ani chladu, je možné v tomto stavu setrvat a pracovat. Člověk vnímá komfort kromě chuti všemi lidskými smysly. Nejdůležitější je hmat a zrak, dále pak sluch a čich.

Naopak při diskomfortu se mohou dostavit pocity tepla či chladu. Při větším pracovním zatížení nebo při působení teplého a vlhkého klimatu se dostavují pocity tepla a naopak jako reakce na nízkou teplotu klimatu nebo nízké pracovní zatížení se dostavují pocity chladu.

Druhy komfortu

Komfort dělíme na oděvní komfort psychologický, senzorický, termofyziologický a patofyziologický. [2]

4.1 Oděvní komfort psychologický

Rozdělení psychologického komfortu dle hledisek.

- **Klimatická hlediska:** oblečení typické pro denní nošení by mělo v první řadě respektovat tepelně - klimatické podmínky, které jsou podmíněny geograficky. Oděv vyhovující výše uvedeným podmínkám se stává normou. Jako přirozená ochrana proti zvýšenému UV záření v tropech se vytvořil kožní pigment.
- **Ekonomická hlediska:** zahrnují přírodní podmínky obživy, výrobní prostředky, politický systém, úroveň technologie apod.
- **Historická hlediska:** lidé preferují výrobky vyrobené z přírodních materiálů, výrobky napodobující přírodu, výrobky přírodní vůně. Vzniká tradice v životním stylu a módě.

- **Kulturní hlediska:** do této kategorie řadíme zvyky, tradice, obřady, náboženství.
- **Sociální hlediska:** do této kategorie spadá věk, vzdělání a kvalifikace, sociální třída, postavení nebo pozice v této třídě. Psychologický komfort vysokého postavení v příslušné třídě demonstrováný odlišným oděvem (viz vojenské uniformy) může kompenzovat nízkou úroveň komfortu termofyziologického.
- **Skupinová a individuální hlediska:** zahrnují módní vlivy, styl, barvy a lesk, trendy, osobní preference a řadí se do oboru oděvního návrhářství. [2]

4.2 Fyziologický komfort

Fyziologickým komfortem rozumíme stav lidského těla, který je člověkem vnímán jako pohodlí a v němž jsou fyziologické funkce v optimu. Pocit pohodlí je založen na subjektivním vnímání každého jedince, který vnímá chlad a teplo pomocí podkožních receptorů. Ve stavu fyziologického komfortu může člověk setrvat neomezenou dobu.

Oděv či jiný textilní výrobek, se kterým je uživatel v kontaktu, vytváří kolem lidského těla mikroklima, jež se neustále podílí na vytváření komfortu či diskomfortu. Například pokud máme výrobek s vyhovujícími tepelnými vlastnostmi, ale nepropouštějící vodní páry, pot neprojde přes textilií a následně se začne zvyšovat vlhkost vzduchu pod oděvem. [3]

Subjektivní hodnocení fyziologického komfortu

Mimo pocit fyziologického komfortu, jehož podmínky jsou k vidění v tab. 1, můžeme fyziologický pocit subjektivně rozdělit do dvou skupin, a to na pocit tepla a na pocit chladu. Každou skupinu můžeme následně rozdělit do několika podskupin v závislosti na výši pocitu. [2]

Pocit tepla lze dále rozdělit na:

- Mírné teplo
 - o projevuje se počínajícím pocitem tepla a následným pocením v periferních oblastech lidského těla, což je čelo, dlaně a chodidla,
 - o s tímto pocitem lze nepřetržitě vyvíjet fyzickou aktivitu.
- Teplo
 - o projevuje se prohlubujícím pocitem tepla a pocením nejen na dlaních, čele a chodidle, ale také na zádech a hrudníku,
 - o pot je z povrchu pokožky odváděn, a to díky spolupůsobení oděvu,
 - o fyzickou aktivitu lze v tomto případě provozovat pouze omezenou dobu.
- Horko
 - o projevuje se přehřátím organismu, které doprovází nejvyšší intenzita pocení a ztížené dýchání,
 - o pot nestačí být z pokožky těla odpařován a odsáván – diskomfort,
 - o pokud tento pocit přetrvává, mohou nastat zdravotní komplikace.

Pocit chladu lze dále rozdělit na:

- Mírné chladno
 - o lokální mrazení v odlehlých částech těla, nezakrytých nebo nedostatečně oblečených, doprovázených výskytem tzv. husí kůže,
 - o lze částečně zamezit fyzickou aktivitou.
- Zima
 - o pocit mrazení po celém těle; třes celého těla,
 - o pokud jsou teploty pod bodem mrazu, mění se vzhled pokožky a mohou mrznout prsty na nohou i rukou, tváře či ušní boltce,
 - o krátkodobý pohyb v oděvu se zvýšenou fyzickou aktivitou.

- Tuhnutí
 - o pocit celkového hlubokého prochlazení organismu,
 - o ochromený pohyb končetin,
 - o může se dostavit šok a následně smrt. [2]

Tab. 1 Podmínky fyziologického komfortu[2]

Teplota pokožky	33°C – 35°C
Relativní vlhkost vzduchu	50 ± 10 %
Rychlost proudění vzduchu	25 ± 10 cm·s ⁻¹
Obsah CO ₂	0,07 %
Nepřítomnost vody na pokožce	

4.3 Senzorický komfort

Senzorický komfort zahrnuje vjemy a pocity člověka při přímém styku pokožky a první vrstvy oděvu. Tyto pocity vznikají při styku pokožky s textilií a mohou být buď příjemné (pocit měkkosti, splývavosti), nebo naopak nepříjemné či dráždivé (mohou se projevovat škrábáním, kousáním, pícháním či pocitem vlhkosti apod.).

Senzorický komfort lze rozdělit na komfort nošení a na omak.

Komfort nošení oděvů zahrnuje:

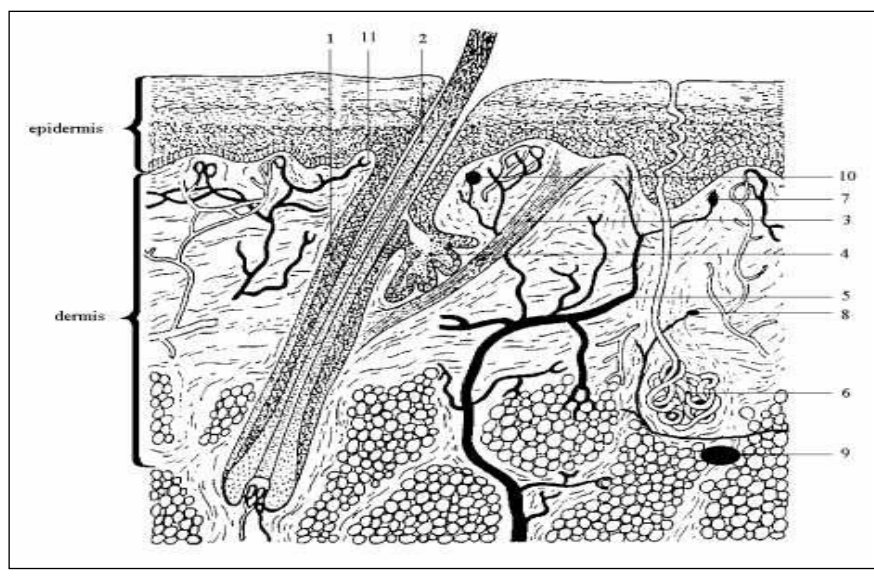
- povrchovou strukturu použitých textilií,
- vybrané mechanické vlastnosti ovlivňující rozložení sil a tlaků v oděvním systému,
- schopnost textilií absorbovat a transportovat plynnou či kapalnou vlhkost s dopadem na své kontaktní vlastnosti. V tomto případě senzorický komfort souvisí s komfortem fyziologickým. [2]

Omak je veličina značně subjektivní a špatně reprodukovatelná, jelikož je založená na subjektivních vjemech vnímaným především prostřednictvím prstů a dlaní. Zjednodušeně lze omak charakterizovat následujícími vlastnostmi:

- hladkostí (součinitelem povrchového tření),
- tuhostí (ohybovou a smykovou),
- objemností (lze nahradit stlačitelností),
- tepelně-kontaktním vjemem. [2]

4.3.1 Vnímání senzorického komfortu podkožními snímači

Při pohledu na obr. 2, který představuje řez lidskou pokožkou a seznam jeho vysvětlivek je uveden v tab. 2, můžeme vypožorovat existenci snímačů pro tlak a bolest, ale nezpozorujeme zde žádné snímače pro vlhkost. Ty jsou v lidské pokožce nahrazeny snímači tepla a chladu. Teplo a chlad jsou zaznamenávány dvěma samostatnými typy receptorů, které jsou umístěny v pokožce, v centrální nervové soustavě a v cévách vnitřních orgánů. Tyto receptory vnímají buď nárůst teploty nad normální úroveň – *teplové receptory* (oblast teplot 38°C až 43°C), nebo její pokles – *chladové receptory* (v oblasti 35°C a 38°C). Mezi těmito oblastmi má lidská pokožka nižší citlivost. Podle současných teorií jsou kožní chladové receptory představovány volnými zakončeními nervových vláken, která jsou uložena hned pod epitelem pokožky a tepelné receptory jsou představovány vlákny umístěnými v horní střední vrstvě šráry. Nejvíce termoreceptorů je v kůži obličeje a na hřbetu ruky, naopak a nejméně jich je v kůži na zádech. Chladových receptorů je v kůži asi 8 krát více než tepelných, to čítá celkem zhruba 140 000. [2]



Obr. 2 Schematický obrázek lidské kůže[2]

Tab. 2 Vysvětlivky k obr. č. 2

1 - vlasové pouzdro	7 - kožní receptory
2 – vlas	8 - senzory vyšších teplot podle Ruffiniho
3 - hladké svalstvo	9 - Vater-Pacciniho senzory tlaku
4 - tuková žláza	10 - senzory nižších teplot podle Krause
5 - kožní žíla	11 - volné konce nervů
6 - potní žláza	

Na obr. 2 také vidíme potní žlázy, které jsou důležité pro vytváření podmínek termofyziologického komfortu. Tomuto typu komfortu bude věnována kapitola 5. Potní žlázy jsou rozmístěny po celém těle a jsou v počtu asi 2 milionů. Nejvíce se jich nachází na ploškách chodidel a nohou, v podpaží je jejich počet stejný jako jinde, ale jejich průměr je dvojnásobný (0,3 až 0,5 mm).

Pot je z největší části tvořen (cca z 99%) z vody, dále z kyselin (mastná a mléčná) a aminokyselin, další část potu tvoří soli (NaCl, Mg, K, Ca) a močovina. Potní žlázy vyplavují pot skrz vnější rohovou vrstvu, která má velký povrch. Díky tomu je odpar z této vrstvy až 5x vyšší než ze stejně velké rovinné plochy. [2]

5. Termofyziologický komfort oděvů

Zjednodušeně řečeno jde o vlastnost textilie, která určuje, v jaké míře propouští vlhkost a teplo z těla. Základními parametry jsou tedy tepelný a výparný odpor. Oba faktory jsou specifické vlastnosti pro jakékoliv textilní plošné útvary nebo kompozity.

Termofyziologický komfort poskytovaný oděvem lze hodnotit dvěma způsoby. První způsob hodnocení je pomocí přístrojů, které přesně charakterizují daný fyzikální děj. Ten se však vymyká podmínkám pokožka – oděv – prostředí. Druhý způsob hodnocení termofyziologického komfortu je pomocí přístrojů, které naopak jsou schopny nastavit podmínky blízké fyziologickému režimu lidského těla.

Popisem termofyziologických vlastností se zabývá česká norma pod označením ČSN EN 31092. Tato norma je identická s normou mezinárodní (tedy s normou ISO 11092). V roce 1993 byla uznána za evropskou normu. Zabývá se detailním popisem postupu při měření za izotermních podmínek. Název normy zní:

Textilie – Zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelného a výparného odporu vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou), (ISO 11092:1993).

a) Tepelný odpor

Představuje rozdíl teplot mezi dvěma povrchy materiálu, který je určen výsledným tepelným tokem na jednotku plochy. Je výsledkem přenosu tepla kondukcí, konvekcí a radiací. Jde tedy o suchý tok tepla procházející danou plochou – materiálem. Značíme jako R_{ct} a vyjadřujeme v jednotkách $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$.

b) Výparný odpor

Představuje rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu, který je dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochy. Je výsledkem přenosu vodních par difúzí, kapilárně a sorpcí. Jde tedy o takzvaný „latentní“ výparný tepelný tok, který prochází danou plochou. Výparný odpor se značí jako R_{et} a vyjadřuje se v jednotkách $m^2 \cdot Pa \cdot W$. [2]

Lidská pokožka je 100% propustná pro vodní páry, pokud ji však zakryjeme textilií, propustnost pro vodní páry se sníží. To o kolik procent záleží na schopnosti textilie propouštět vodní páry. Platí vztah, že čím je R_{et} nižší, tím je propustnost pro vodní páry vyšší.

Klasifikace propustnosti textilií pro vodní páry je dle stávajících norem ISO taková:

$R_{et} < 6$ velmi dobrá ($20\,000\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ za 24hod),

$R_{et} 6 - 13$ dobrá ($9000 - 20\,000\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ za 24hod),

$R_{et} 13 - 20$ uspokojivá ($5000 - 9000\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ za 24hod),

$R_{et} > 20$ neuspokojivá ($5000\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ za 24hod).

5.1 Optimální podmínky termofyziologického komfortu

Za optimální podmínky termofyziologického komfortu považujeme:

- teplotu pokožky: $33 - 35^{\circ}\text{C}$,
- relativní vlhkost vzduchu: $50 \pm 10\%$,
- rychlost proudění vzduchu: $25 \pm 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,
- obsah CO_2 : maximálně $0,07\%$,
- nepřítomnost vody na pokožce.

Z výše uvedeného vyplývá, že je nutné konstruovat oděvy tak, aby jejich schopnost přenosu tepla, vodních par, kapalně vlhkosti a prodyšnosti zajišťovaly při nošení výše uvedené optimální hodnoty. Oděv je ochranný systém, ve kterém dochází k prostupu tepla a vlhkosti. Prostup tepla a vlhkosti je buď usnadňován, nebo brzděn v závislosti na konstrukci, střihu, použitém materiálu a ostatních parametrech. Oděv tak napomáhá termoregulaci organismu v takových případech, když tělo samo není schopno samoregulace. Oděv často vytváří oděvní systém, který se skládá z několika oděvních mezivrstev. Při detailním pohledu je každá oděvní mezivrstva jako elementární jednotka oděvního systému složena z vrstvy vzduchu, vrstvy textilie a z vrstvy vzduchu uzavřeného v textilií. [2]

Tyto tři vrstvy nelze uvažovat nezávisle na sobě z toho důvodu, že se všechny účastní transportu tepla, vlhkosti a vzduchu, a to tak, že stav a fyzikální vlastnosti jedné vrstvy ovlivňují stav a vlastnosti vrstvy druhé, respektive třetí a opačně. [2]

5.2 Termoregulace

Termoregulace je schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu i přesto, že produkce tepla, jeho příjem i ztráty mohou nepřetržitě kolísat. Lidský organismus pracuje jako samoregulační systém, jehož fyziologický mechanismus má za úkol udržet stálost vnitřního prostředí na principu rovnováhy mezi množstvím tepla vytvořeného organismem a množstvím tepla odevzdaného do okolního prostředí. Člověk si různými termoregulačními mechanismy udržuje stálou tělesnou teplotu pohybující se v rozmezí $\pm 4^{\circ}\text{C}$ okolo průměrné hodnoty $36 - 37^{\circ}\text{C}$. Kolísání je způsobeno vnitřními i vnějšími vlivy. Teplota lidského těla je závislá na tvorbě tepla a na faktorech okolního prostředí (teplotě, vlhkosti proudění vzduchu a tepelném záření). Změny tělesné teploty vyvolávají změny na buněčných strukturách, ovlivňují enzymatické pochody a zasahují do řady chemicko-fyzikálních procesů. Nevratné poškození lidské buňky vzniká při teplotě -1°C , kdy se v buňce tvoří krystalky ledu. Naopak při teplotě 45°C dochází ke koagulaci bílkovin.

Termoregulace je proces, který slučuje fyziologické pochody řízené centrálním nervovým systémem udržujícím tělesnou teplotu na optimální hodnotě, při které probíhají metabolické přeměny. Na tomto základě existuje termoregulace dvojího druhu:

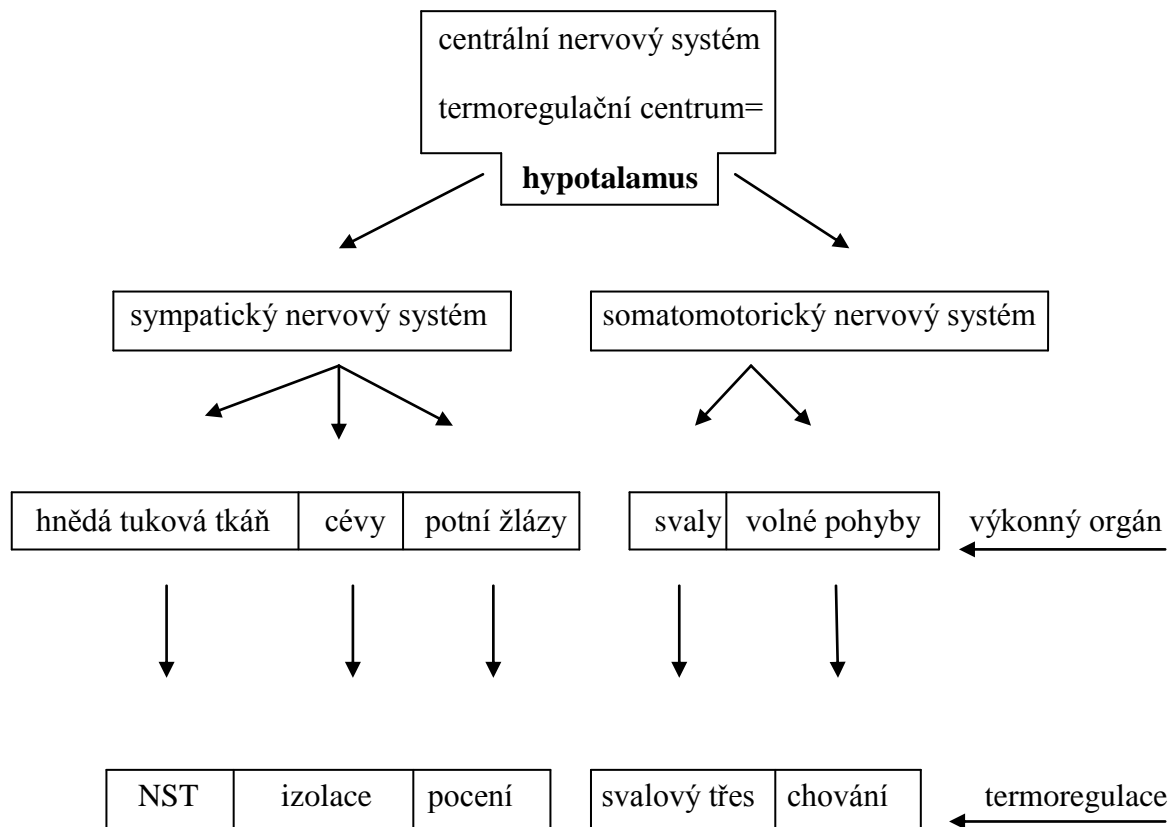
- chemická – tvorba tepla,
- fyzikální – výdej tepla.

Chemická termoregulace představuje látkovou přeměnu (působení chemických reakcí), a tedy tvorbu tepla. Je zároveň závislá na fyzické zátěži organismu a na jeho činnosti. K největší produkci tepla dochází při namáhavé činnosti organismu.

Fyzikální termoregulace zahrnuje podíly jednotlivých odvodů tepla z organismu. Nejprve tedy tvorbu tepla a posléze jeho odvod z těla. [2]

5.3 Termoregulační systém lidského těla

Systém termoregulace, který probíhá v lidském těle, zobrazuje schéma na obr. 3:



Obr. 3 Schéma odštědivých nervových drah řídících termoregulační děje člověka[2]

Úkolem termoregulačního systému lidského těla je zejména udržovat tělesnou teplotu v daném teplotním intervalu. Prostřednictvím metabolických postupů s pomocí buněčných enzymů je v těle udržována optimální teplota cca 37°C. Při této teplotě probíhají harmonicky různé životní funkce. Teplotu lidského těla nelze považovat za zcela stálou. Je odlišná na různých místech těla, ale i v těchto místech může kolísat v závislosti na fyziologickém stavu těla a okolních podmínkách. Nejvyšší teploty pokožky (cca 35 – 36°C) prokazují dobře prokrvené části těla (jako například hlava, břicho či prsa). Na okrajových částech těla (rukách, nohách) je teplota pokožky asi 29 – 31°C. Nejchladnějšími místy lidského těla (s teplotou 23 – 28°C) jsou špička nosu, ušní lalůčky a špičky prstů. [2]

Teplota jádra (vnitřní teplota organismu) je vyšší a dosahuje přibližně 37°C. Na této úrovni je u zdravého člověka udržována za všech okolností, a to i v případě, že by teplota periferních částí podstatně klesla. V noci tělesná teplota klesá. V podmínkách, kdy organismus nemusí regulovat teplotu lidského organismu, nedochází k termoregulaci. Při normálním prokrvení organismu nedochází k pocení a ani nenastává pocit chladu. Je to tedy stav, ve kterém člověk vydrží pracovat neomezeně dlouho, stav fyziologické, psychologické a fyzikální harmonie mezi člověkem a okolím. Tento stav vyjadřuje stav tepelné pohody nebo jinými slovy termofyziologického komfortu. Obecně lze říci, že člověk se cítí dobře, pokud průměrná teplota pokožky je 32 - 34°C. [2]

5.4 Přenos tepla mezi člověkem a okolím

K přenosu tepla mezi člověkem a okolím dochází následujícími způsoby:

- kondukcí,
- konvekcí,
- radiací,
- evaporací,
- respirací.

5.4.1 Přenos tepla vedením (kondukcí)

Přenos tepla vedením je charakterizován jako kontakt kůže s chladnějším prostředím. Tento přenos je uskutečněn pouze v případě, je-li oděv v těsném kontaktu s kůží. Celý proces funguje na bázi předávání kinetické energie. Z toho vyplývá, že teplota okolí musí být nižší než teplota těla. Čím vyšší je rozdíl teplot mezi tělem a okolím, tím je přenos tepla vedením rychlejší. Proces závisí na několika faktorech, a to na: rozdílu teplot, na tloušťce vrstvy přilehlého oděvu, na množství statického vzduchu v oděvu a na vnějším pohybu vzduchu. Přenos tepla vedením se uskutečňuje především na chodidlech a na zadní části těla při sezení či ležení. [2,3]

Přenos tepla vedením se řídí podle Fourierova zákona o tepelném toku q : [2]

$$q = -\lambda \cdot (\Delta t / \Delta x) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (3)$$

kde:

- λ = tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- $(\Delta t / \Delta x)$ = teplotní gradient

Velmi důležitým vztahem při hodnocení tepelného komfortu je vztah pro tepelný odpor R deskových materiálů, např. plošných textilií, tenkých vzduchových vrstev a jiných plošných materiálů o tloušťce h [m]. [2]

$$R = h / \lambda \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (4)$$

Tepelný odpor vzduchové vrstvy v oděvu dosahuje svého maxima pro $h = 5$ mm. U silnějších vrstev se již významně uplatňuje volná konvekce a tepelný odpor klesá.

Výpočet celkového tepelného odporu je závislý na počtu vzduchových vrstev, z čehož plyne, že se vypočítá jako součet odporů jednotlivých vrstev.

$$R_{CL} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (5)$$

kde:

- R_{CL} = celkový odpor
- R_n = jednotlivé odpory vrstev

Součtem odporu celkového a odporu mezní vrstvy získáme odpor totální.

$$R_{TOT} = R_{CL} + R_E \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (6)$$

kde:

- R_{TOT} = totální odpor
- R_E = odpor mezní vrstvy [2]

Celkový tok tepla Q^* je poté dán rovnicí:

$$Q^* = A_{CL} \cdot q = (\Delta t \cdot A_{CL}) / R_{TOT} \quad [W] \quad (7)$$

kde:

- Q^* = tepelný výkon procházející oděvem
- A_{CL} = plocha oděvu [m^2]
- $\Delta t = t_S - t_E$ = tepelný gradient [2]

5.4.2 Přenos tepla prouděním (konvekci)

Přenos tepla prouděním představuje nejčastější přenos tepla mezi člověkem a okolím. Teplo je přenášeno pomocí částic tekutin, které se pohybují určitou rychlostí v [$m \cdot s^{-1}$]. Mezi objektem a prostředím se vytváří tzv. tepelná mezní vrstva, jenž má svou danou tloušťku δ [μm], ve které se realizuje teplotní spád. Tloušťka mezní vrstvy je rozdílná v případě, jedná-li se o proudění laminární nebo turbulentní. Druh proudění je vyjádřen pomocí tzv. Reynoldsova čísla – Re :

$$Re = (v_s \cdot d) / \nu \quad [-] \quad (8)$$

kde:

- v_s = střední hodnota rychlosti proudění kapaliny v daném průřezu [$m \cdot s^{-1}$]
- d = charakteristický rozměr (průměr) objektu (trubice) [m]
- ν = dynamická viskozita tekutiny [$m^2 \cdot s^{-1}$]

Pokud platí, že $Re > 2300$, jedná se o proudění turbulentní. Pokud nerovnost neplatí, jedná se o proudění laminární. [2]

Teplotní spád na tepelné mezní vrstvě při přestupu tepla prouděním je důsledkem tzv. vnějšího tepelného odporu $R_{\text{mezní vrstvy}} = R_E$, který musí být započten do celkového tepelného odporu R_{TOT} , R_E . Lze vypočítat pomocí následujícího vztahu:

$$R_E = l / \alpha \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (9)$$

Lineární koeficient přestupu tepla zářením α_c [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$] nabývá relativně nízkých hodnot při přirozeném proudění a vyšších hodnot nabývá při vynuceném proudění. Pro podmínky typické pro užití oděvu může být koeficient přestupu tepla zářením vypočten následně:

$$\alpha = 2,38 \cdot (t_{\text{sk}} - t_a)^{0,25} \quad \text{- pro volné proudění}$$

$$\alpha = 3,5 + 5,2 \cdot u \quad \text{- pro nucené proudění s rychlostí } 0\text{-}1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\alpha = 8,7 \cdot u^{0,6} \quad \text{- při vyšších rychlostech proudění [2]}$$

5.4.3 Přenos tepla zářením (radiací)

Lidské tělo je schopné přijímat a vydávat tělesné teplo prostřednictvím radiace. Vše je závislé na teplotě okolí, vlhkosti okolního vzduchu a odhalení částí těla člověka. O výdej tepla se jedná v případě, kdy je teplota okolí nižší než teplota těla. Radiace je elektromagnetické vlnění, které se šíří rychlostí $c = 300\,000\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tomuto záření, které má vlnový charakter o délce vlny λ , lze také přiřadit frekvenci záření f , a to dle vztahu:

$$f = c / \lambda \quad [\text{Hz}] \quad (10)$$

Podle délky vlny lze rozlišit několik typů záření: gama záření (s vůbec nejkratšími vlnovými délkami), rentgenové záření, extrémní ultrafialové záření, ultrafialové záření, optické záření, infračervené záření, submilimetrové záření, mikrovlnné záření a radiové záření. [2]

Důležitý vztah sloužící k výpočtu tepelného toku q přenášeného mezi objektem a rozlehlým vzdáleným okolím se dá vypočítat pomocí vztahu:

$$q = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_1^4 + T_2^4) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (11)$$

kde:

- T_1, T_2 = teploty rovnoběžných rovin [$^{\circ}\text{C}$]
- ε = povrchová emisivita [-]
- σ = radiační konstanta, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ [2]

5.4.4 Přenos tepla odpařováním (evaporací)

Nejčastější ztráty způsobené odpařováním vznikají v případě přehřátí lidského organismu. Teplo je z kůže odváděno pocením a závisí na měrném výparném teple a rozdílu parciálních tlaků vodních par. Aby mohlo dojít k pocení, musí být tlak páry při určité teplotě kůže v mezivrstvě vyšší než tlak okolního vzduchu. Při tomto způsobu jsou tepelné ztráty nejvyšší v případě, že je tělo odhalené, protože pod oděvem je nízký rozdíl parciálních tlaků. Je tedy důležité zohlednit sorpční a transportní vlastnosti použitých textilií u všech vrstev oděvu. [3]

5.4.5 Přenos tepla dýcháním (respirací)

Tepelné ztráty jsou dány rozdílem mezi množstvím vdechovaných a vydechovaných vodních par.

Všech pět způsobů odvodu tepla se podílí na termoregulačním systému lidského těla. Pokud sečteme hodnoty všech odvodů, dostaneme údaj o množství tepla, které je vyrobeno lidským metabolismem. [3]

5.5 Výpočet termofyziologických vlastností z naměřených hodnot

5.5.1 Stanovení relativní paropropustnosti

Měření relativní paropropustnosti textilií p' je nenormalizovaný, ale velmi praktický parametr, kde 100% propustnost představuje tepelný tok q_0 [$W \cdot m^{-2}$] vyvozený odparem z volné vodní hladiny o stejném průměru, jaký má testovaný vzorek textilie. Při zakrytí této hladiny testovaným vzorkem se poté tepelný tok sníží o hodnotu q_v [$W \cdot m^{-2}$]. Relativní paropropustnost lze poté stanovit dle vzorce: [2]

$$p' = 100 \cdot (q_v / q_0) \quad [\%] \quad (12)$$

5.5.2 Stanovení výparného odporu

Parciální tlak vodní páry ve vzduchu P_a [Pa] je veličina, která je určena z relativní vlhkosti vzduchu ϕ [%] a jeho teploty t_a . Parciální tlak páry ve stavu nasycení P_m [Pa] je funkcí teploty vzduchu, která je naprogramovaná v přístroji Permetest. [3]

$$R_{et} = (P_m - P_a) \cdot (q_v^{-1} - q_0^{-1}) \quad [m^2 \cdot Pa/W] \quad (13)$$

5.5.3 Stanovení tepelného odporu

Tepelný odpor, který se značí R_{ct} , je definován jako odpor proti prostupu tepla vzorkem při teplotě t_m [$^{\circ}C$] jeho jedné strany a při přenosu tepla konvekci z jeho vnější strany do vzduchu o teplotě t_a [$^{\circ}C$]. Tepelný odpor vnější strany se od odporu proti prostupu tepla vzorkem odečítá. Takto stanovená hodnota tepelného odporu je pouze přibližná, jelikož odečítaný tepelný odpor platí pro hladký měřicí povrch. V praxi je ovšem povrch skutečné textilie drsný, a tudíž mohou být hodnoty odlišné. I přes nepřesný způsob stanovení tepelného odporu se tato metoda v Evropě často používá, jelikož příslušná norma ISO 11092 byla vydána v roce 1993 a její použití se stalo součástí katalogů i přesto, že nebyla podrobně vysvětlena její podstata. Přístroj Permetest umožňuje výpočet tepelného odporu dle normy ISO 11092, a to dle vztahu:[2]

$$R_{ct} = (t_m - t_a) \cdot (q_v^{-1} - q_0^{-1}) \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (14)$$

6. Přenos vlhkosti

V technice prostředí jsou velmi častými případy vypařování a kondenzace a to při styku vzduchu s vodou - s vodní hladinou, aerosolem rozstříkované vody, mokřým povrchem či s povrchem vlhkého porézního materiálu. Ve všech výše uvedených případech je přenos vlhkosti spojen s přenosem tepla a je jím přímo ovlivňován. Na hladině vody, která musí být chemicky čistá, dosahuje tlak vodní páry stejných hodnot jako tlak páry nasycené při dodržení dané teploty povrchu. K odpařování vody dochází v případě, kdy je její teplota vyšší než teplota rosného bodu okolního vzduchu. V podstatě mohou nastat dva případy: buď bude teplota vody vyšší než teplota mokrého teploměru vzduchu, nebo bude teplota vody nižší než teplota mokrého teploměru vzduchu. V prvním případě se voda odpařuje a k tomu, aby byl zachován ustálený stav, musí být voda ohřívána ke krytí tepla potřebného k vypařování. V druhém případě dochází ke kondenzaci vodní páry ze vzduchu, a proto musí být voda chlazena. Bez přívodu (potažmo odvodu) tepla, což představuje adiabatický děj, se teplota povrchu ustálí na teplotě mokrého teploměru (je-li potlačen vliv sálání okolních ploch a za podmínek přestupu tepla, které budou dále uvedeny v kapitolách). [1]

6.1 Difúze vodních par ve vzduchu

Difúze má základní význam pro molekulární přenos vlhkosti. Hustotu toku vlhkosti vyjadřuje tzv. první Fickův zákon, který je definován následujícím vztahem:

$$m = - D_C \cdot (d_C / d_n) = - D_p \cdot (dp_D / d_n) \quad [\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)] \quad (15)$$

kde: D = difuzivita [m^2/s]

C = koncentrace [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

n = normála [m]

p = tlak [Pa]

Koncentrace difundující páry (hmotnostní podíl páry v jednotce objemu směsi se suchým vzduchem) je její hustota při příslušném parciálním tlaku $d_C = dp_D$. [1]

S použitím stavové rovnice pro vodní páru, která je dána vztahem:

$$dp_D = r_D \cdot T \cdot d\rho_D \quad \text{dosazením a porovnáním dostaneme} \quad D_p = (D_C / r_D \cdot T)$$

Fickův zákon se týká obousměrné difúze, kdy vodní pára difunduje do míst s nižším parciálním tlakem par a vzduch do míst s vyšším parciálním tlakem.

Velmi častým případem v praxi je difúze jednosměrná, kdy difúzi vzduchu brání neprostupný povrch, např. vodní hladina. Potom dochází na vodní hladině k odpařování a pára difunduje od hladiny podle Fickova zákona. Vzduch difunduje proti hladině, která jeho molekuly zadrží. Ty se shlukují a pro udržení procesu se vracejí zpět, přičemž se na povrchu vodními parami nasytí. Matematicky můžeme vyjádřit takto:

hmotnostní tok páry a vzduchu difúzí

$$m_{Dd} = - (D_C / r_D \cdot T) \cdot (dp_D / dn) \quad [\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)]$$

$$m_{ad} = - (D_C / r_a \cdot T) \cdot (dp_a / dn) = + (D_C / r_a \cdot T) \cdot (dp_D / dn) \quad [\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)]$$

hmotnostní toky vzduchu k povrchu a zpět musí být stejné

$$-m_a = w \cdot \rho_a \quad [\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)]$$

kde $w \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$ = rychlost vracejícího se vzduchu a ρ_a = hustota vracejícího se vzduchu.

V proudu vzduchu od povrchu je obsažena vodní pára o koncentraci ρ''_D (vzduch je vlhkostí nasycen). Hustota jejího toku je vyjádřena pomocí vztahu:

$$w \cdot \rho''_D = - (D_C / p_a) \cdot (dp_D / dn) \cdot (p''_D / r_D \cdot T) \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})] \quad (16)$$

Celkový tok vodní páry přecházející z povrchu je tlak na povrchu $p = p_a + p''_D$

$$m_D = m_{Dd} + w \cdot \rho''_D = m_{Dd} \cdot [p / (p - p''_D)], \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})] \quad (17)$$

kde zlomek s tlaky se nazývá Stefanova korekce na jednosměrnou difúzi. [1]

6.2 Přenos vlhkosti konvekci

Konvektivní přenos vlhkosti je fyzikálně komplikovaný děj, který je řešitelný analyticky jen ojediněle. Ke stanovení velikosti přenosu vlhkosti se pomocí kritériálních rovnic užívají experimentálně zjištěné součinitele přenosu vlhkosti, obdobně jako při výpočtu součinitele přestupu tepla konvekci. Na rozdíl od přestupu tepla mohou být součinitele přenosu hmoty β vztaženy k hustotě složky ve směsi, k parciálním tlakům nebo k měrným vlhkostem s odpovídajícími indexy. Hustota toku vlhkosti:

$$m = -\beta_C \cdot (\rho_D - \rho''_D) = -\beta_x \cdot (x - x'') = -\beta_p \cdot (p_D - p''_D) \quad [\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)] \quad (18)$$

kde: β_C [m/s]

β_x [kg/(m²·s)]

β_p [s/m]

p''_D [Pa = kg·m/(m²·s²)]

Přepočet přes $x = (r_a / r_D) \cdot [p_D / (p - p_D)] = 287,1 / 461,5 \dots = 0,622 \dots$

Povrchová teplota volné vodní hladiny t_p se odchyľuje od teploty vody t_w směrem k teplotě mokrého teploměru t_m .

Podle Häusslera pro klidnou hladinu:

$$t_p = t_w - 0,125 \cdot (t_w - t_m) \quad [^\circ\text{C}] \quad (19)$$

Hodnoty součinitelů přenosu vlhkosti jsou závislé především na rychlosti a mikrostruktuře proudění (laminární – turbulentní) a na příčině (zdroji) proudění (přirozené – vynucené). [1]

6.3 Adiabatické odpařování

Teplo k odpařování se odebírá vzduchu. Entalpie vzduchu zůstává přibližně stálá (odpovídá teplotě mokrého teploměru t_m .)

$$\alpha \cdot (t - t_m) = \beta_x \cdot (x''_m - x) \cdot l_m, \quad \text{použitím} \quad x = 0,622 \cdot [p_D / (p - p_D)]$$

dostaneme na pravé straně:

$$= \beta_x \cdot [p \cdot (p''_{Dm} - p_D) / (p - p''_{Dm}) \cdot (p - p_D)] \cdot l_m, \quad \text{kde } l_m \text{ je výparné teplo při } t_m.$$

Pro vyvinuté turbulentní proudění z Lewisova vztahu $c_a = (\alpha / \beta_x)$, pak

$$p_D = p''_{Dm} - [c_a / (0,622 \cdot l_m)] \cdot [(p - p''_{Dm}) \cdot (p - p_D) / p] \cdot (t - t_m).$$

Dosazením $c_a = 1010 \cdot [J / (kg \cdot K)]$, $l_m = 2,5 \cdot 10^6 \cdot (J / kg)$, a pro p''_{Dm} a $p_D \ll p$ dostaneme psychometrickou rovnici

$$p_D = p''_{Dm} - 650 \cdot 10^{-6} \cdot p \cdot (t - t_m) \quad [\text{Pa}] \quad (20)$$

Pro $t_m = 10$ až 20 °C a rychlosti vynuceného proudění přes $2,5$ m/s je psychometrická konstanta $662 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; v klidném vzduchu $0,0012$. [1]

7. Metody hodnocení termofyziologického komfortu oděvů

Termofyziologický komfort poskytovaný oděvem lze měřit dvěma způsoby. První způsob měření se provádí pomocí přístrojů, které přesně charakterizují příslušný fyzikální děj. Takové přístroje jsou např. Permetest nebo Alambeta. Měření probíhá pomocí tzv. „skin modelů – modely lidské pokožky“, což jsou modely, které nahrazují povrch lidské pokožky. V tomto případě ovšem nedochází k přímému vztahu k podmínkám platícím v systému pokožka – oděv – prostředí.

Druhý způsob, jak lze měřit termofyziologický komfort poskytovaný oděvem, je založen na podmínkách blízkých fyziologickému režimu lidského těla. Tento způsob měření v poslední době převládá, neboť nám poskytuje přesnější a věrohodnější informace o termofyziologické komfortu.

Termofyziologický komfort oděvů, respektive textilií, lze poté zjednodušeně charakterizovat pomocí tří základních parametrů: relativní paropropustnosti, tepelného odporu a výparného odporu (viz kapitola 5.5). [2]

7.1 Měření pomocí přístroje Alambeta

Přístroj Alambeta je počítačem řízený poloautomat měřící termofyziologické vlastnosti textilií. Tento přístroj měří jak tepelně - izolační vlastnosti (tepelný odpor a tepelnou vodivost), tak i dynamické vlastnosti (tepelnou jímavost, tepelný tok). Přístroj je schopen vyhodnotit statistické údaje během měření. V Alambetě je zabudováno samo-kontrolující se zařízení, které zabraňuje chybám. Ty mohou pochopitelně nastat během měření. Proces měření spočívá v průchodu tepelného toku přes plochu vzorku. Při měření jsou snímány teploty t_1 [°C] a t_2 [°C], přičemž t_1 značí teplotu měřící hlavice, která odpovídá teplotě lidské pokožky, tedy 35°C. Teplota t_2 značí teplotu měřeného vzorku, která je totožná s teplotou vzduchu v laboratoři. Výslednou hodnotu pak dostaneme jako rozdíl mezi hodnotami t_1 a t_2 . Měření trvá celkem 3 – 5 minut včetně statistického vyhodnocení. Přístroj měří následující hodnoty: měrnou tepelnou vodivost, plošný odpor vedení tepla, tepelný tok, měrnou teplotní vodivost, tepelnou jímavost a tloušťku materiálu. [2]

Měřené parametry přístrojem Alambeta: [2]

a) Měrná tepelná vodivost – λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

- jedná se o množství tepla, které projde jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1K;
- hodnota udaná přístrojem Alambeta se musí vydělit číslem 10^3 .

b) Plošný odpor vedení tepla – r

- poměr tloušťky materiálu a měrné tepelné vodivosti;
- hodnota udaná přístrojem Alambeta se musí vydělit číslem 10^3 .

$$r = (h / \lambda) \quad [\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}] \quad (21)$$

kde:

- h = tloušťka materiálu [m]
- λ = měrná tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

c) Tepelný tok – q

- množství tepla šířící se z hlavice přístroje o teplotě t_2 [$^{\circ}\text{C}$] do textílie o počáteční teplotě t_1 [$^{\circ}\text{C}$] za jednotku času.

$$q = b \cdot [(t_2 - t_1) / (\pi \cdot \tau)^{1/2}] \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (22)$$

d) Měrná teplotní vodivost – a

- schopnost látky vyrovnávat teplotu;
- hodnota udaná přístrojem Alambeta se musí vydělit číslem 10^3 .

$$a = (\lambda / c \cdot \rho) \quad [\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}] \quad (23)$$

e) Tepelná jímavost – b

- množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu.

$$b = (\lambda \cdot \rho \cdot c)^{1/2} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{K}^{-1}] \quad (24)$$

kde: $\rho \cdot c$ = tepelná kapacita [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

7.2 Stanovení parametrů termofyziologického komfortu pomocí SKIN MODELU

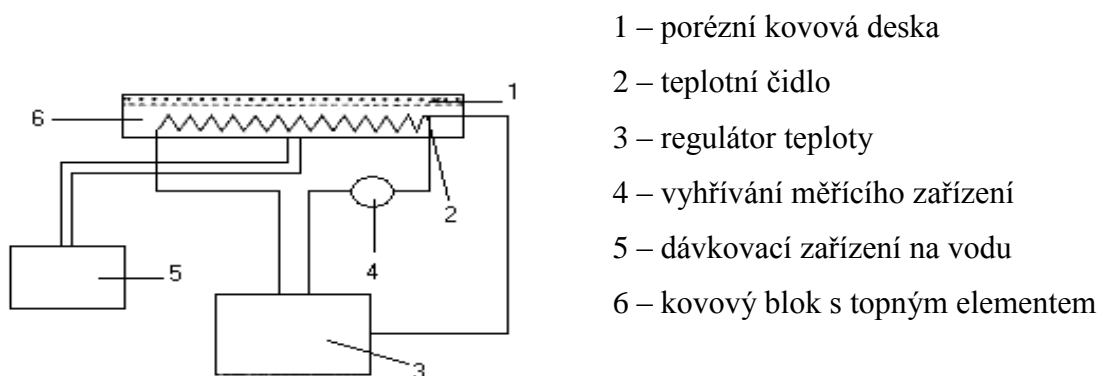
SKIN MODEL, v překladu model lidské kůže, pracuje na principu vyhřívané zvlhčované porézní desky. Tato deska slouží k simulaci procesů přenosu tepla a hmoty, ke kterým dochází mimo jiné i mezi pokožkou lidského těla a okolím.

Měření může probíhat buď za stacionárních podmínek - tedy v konstantním klimatickém prostředí, nebo v nestacionárních podmínkách - kde dochází ke kombinaci různých teplot okolí, relativních vlhkostí i ke změně rychlosti proudění vzduchu. [2]

7.2.1 Zkouška za stacionárních podmínek

Na obr. 4 můžeme vidět schematický model měřicí jednotky termofyziologického komfortu skin modelu za stacionárních podmínek. Zkušební vzorek je zde umístěn na elektricky vyhřívanou porézní desku, která má teplotu 35°C a kolem níž proudí vzduch o rychlosti 1 m/s a teplotě 20°C (při měření tepelného odporu) nebo 35°C (při měření relativní propustnosti pro vodní páry). Po určité době, kdy se podmínky pro měření ustálí (nejčastěji doba několika hodin), změříme elektrickým wattmetrem příkon vytápěné desky. Při určování propustnosti pro vodní páry je vyhřívaná deska zespodu pokryta celofánovou membránou, která propouští vodní páry, nikoliv však vodu. Voda, která je přiváděná k vyhřívané desce, se odpařuje a prochází membránou ve formě páry. Zkušební vzorek tedy nepřijde do kontaktu s vodou. V závislosti na propustnosti textilie pára uniká ven, nebo zůstává uvnitř. Pokud pára uniká, teplota desky má tendenci klesat, a musíme proto zvyšovat příkon. Tepelný příkon přiváděný do desky s cílem udržovat původní teplotu desky – 35°C (izotermický děj), je pak mírou propustnosti textilie pro páru. Pro snížení tepelných ztrát při měření, je porézní deska kolem dokola obklopena elektronicky stabilizovanou izotermní plochou.

Nevýhodou tohoto způsobu měření je vysoká tepelná setrvačnost celého zařízení – jedno měření může probíhat i více než 1 hodinu. Během této doby může docházet ke kondenzaci vlhkosti ve vlastním vzorku a výsledek může být zkreslen. [2]



Obr. 4 Měřicí jednotka s kontrolou teploty a přívodem vody[2]

7.2.2 Zkouška za nestacionárních podmínek

Pomocí této metody se prostřednictvím SKIN modelu měří účinek z parní fáze, který určuje komfort nošení textilií nejbližších pokožce za podmínek soustavného pocení, kde se ovšem pot stačí z potních kanálků vypařit. Tento postup měření lze simulovat pomocí hydrofilní tkaniny, která je umístěná na porézní vyhřívané desce o teplotě 35°C a zavlhčené celkem 4 cm³ vody. Voda se působením tepla odpařuje. Ve vzduchovém prostoru mezi porézní deskou a vzorkem jsou umístěna měřicí čidla, která měří časový průběh teploty a vlhkosti podle nastaveného režimu impulzů pocení. Ve vzdálenosti 10 mm nad volným prostorem je upevněn vzorek v rámu, který buď vlhkost odpařuje, nebo pohlcuje. Pro dokonalejší simulaci představující lidské tělo je vzorek materiálu uváděn do pohybu pomocí elektricky poháněných nití. Nad vzorkem poté proudí vzduch o teplotě 25°C a relativní vlhkosti 30%.

7.3 Měření pomocí přístroje Permetest

Přístroj Permetest je ve své podstatě tzv. SKIN MODEL malých rozměrů (model lidské pokožky), který je založený na přímém měření tepelného toku q procházejícího povrchem tohoto tepelného modelu lidské pokožky. Povrch modelu je porézní a je zavlhčován, což simuluje potní impuls důležitý pro ochlazování lidské kůže. Na tento povrch je pak přikládán měřený vzorek přes separační fólii, přičemž je vnější strana vzorku ofukována. Přístroj měří relativní propustnost textilií pro vodní páry p [%], která je dále vysvětlena v kapitole 5.5.1. [2]

Postup měření na přístroji PERMETEST:

Pro zachování izotermických podmínek při měření výparného odporu a paropropustnosti je důležité, aby měřicí hlavice byla udržována na teplotě okolního vzduchu (zhruba 20 – 23°C), který je do přístroje nasáván. To se děje díky elektrické topné spirále a regulátoru. Při měření se pak vlhkost v porézní vrstvě mění v páru, která prochází vzorkem přes separační fólii. Výparný tepelný tok, který je v přístroji přítomen, se měří speciálním snímačem a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. V obou zmíněných případech se nejdříve měří tepelný tok bez vzorku a poté se změří znovu se vzorkem. Přístroj poté udává dané tepelné toky q_o a q_v . Při měření tepelného odporu textilního vzorku je suchá měřicí hlavice udržována na vyšší teplotě, než je teplota okolního vzduchu, zhruba na teplotě vyšší o 10 - 20°C. V tomto případě je zde opět registrován tepelný tok odváděný ze vzorku konvekci do okolního proudícího vzduchu. Výhodou měření pomocí přístroje Permetest je krátká doba měření a možnost provádět měření v jakýchkoliv běžných klimatických podmínkách.[2]



Obr. 5 Přístroj PERMETEST

Permetest (viz obr. 5) je v dnešní době používán ve více než 30 zemích světa. Používá se nejen v Evropě, ale také v USA, Jižní Americe či v Austrálii. V roce 1990 byl patentován profesorem Lubošem Hesem z Technické univerzity v Liberci.

7.4 Metoda Dreo

Tuto metodu pro hodnocení termofyziologického komfortu textilií navrhli vědci Farnworth, Van Beest a Dolhan. Testovaný vzorek textilie je upevněn na podložku mezi dvě polopropustné vrstvy. Pod spodní vrstvou je voda a přes vrchní vrstvu proudí suchý vzduch. Spodní vrstva chrání a odděluje vzorek od vodní hladiny. Naproti tomu vrchní vrstva chrání vzorek před průnikem vzduchu. Voda v testovací nádobě je zahřívána, a tím je přetvářena na vodní páry. Ta nejprve prochází spodní polopropustnou vrstvou a dále vzorkem textilie. To jak rychle pára prochází vzorkem textilie je dáno jeho schopností propouštět vodní páry. Vodní pára následně prochází druhou vrstvou a poté je proudem vzduchu odvedena pryč. Měření se provádí po dobu 15 minut. Ztráta vody zde není určována vážením, ale je odečítána na stupnici skleněné kapiláry. [2]

7.5 Klimatická komora Vötsch

Automatická klimatická komora (viz obr. 6) pracuje na bázi cirkulace vzduchu a vlhkosti. Okolní vzduch je nasáván do vzduchového kanálu a následně je pomocí větráku uvnitř komory rozptýlen. Vnitřní testovací prostor je vyroben z vysoce lesklé a ušlechtilé oceli a obsahuje čidla pro měření teploty a vlhkosti. Zkušební prostor je zajištěn dveřmi se zamykatelným uzávěrem. Po obou stranách pece jsou tzv. průchodky, ve kterých vedou kabely, jež jsou zajištěny gumovými uzavíracími zátkami. Ve spodní části klimatické komory se nachází vodní nádrž na zvlhčovací vodu a vodu psychrometru. Hladina vody musí být neustále kontrolována a automaticky doplňována. Velmi důležitým prvkem je zde ovládací jednotka, tzv. „TOUCHPANEL“, který slouží k plnému ovládání pece. Zde se nastavují klimatické podmínky měření. Konkrétně teplota a vlhkost. Na ovládací jednotce je vidět průběh vyhřívání, při otevření dveří ztráta hodnot, nebo pokud se v komoře vyskytuje problém, displej nás na něj upozorní.[5]



Obr. 6 Klimatická komora Vötsch

PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem experimentální části diplomové práce je vyhodnocení paropropustnosti u vybraných vzorků textilií při daných klimatických podmínkách a vyhodnocení vlivu změny klimatických podmínek na výši propustnosti textilie pro vodní páry, což je graficky a statisticky vyhodnoceno pro každou ze čtyř testovaných textilií. Jako vyhodnocení experimentální části budou vyjádřeny a okomentovány absolutní a relativní změny paropropustnosti při různých klimatických podmínkách. Dílčím cílem práce je vyhodnocení vlivu doby měření na výslednou hodnotu paropropustnosti za 24 hodin.

8. Prováděný experiment

Většina outdoorových firem využívá pro otestování materiálů dva způsoby. V prvním případě, tedy při měření na území Evropy, se vychází z normy ISO 11092. Avšak materiály testované na území Asii se řídí ve většině případů pomocí normy JIS 1099 A či B, případně dle normy ASTM E-96. Zde bohužel dochází k rozporuplným výsledkům, které jsou dány nejednotností klimatických podmínek při měření dle jednotlivých norem. Pro praktické porovnání měření prováděné na území Asie a Evropy byla vybrána invertovaná metoda dle normy ASTM E-96 (je zde odstraněn vliv vzduchové mezery) a měření dle normy ISO 11092 na přístroji Permetest. Vzhledem k různým klimatickým podmínkám, které se při testování používají, byl proveden experiment, kde byl sledován právě vliv teploty a relativní vlhkosti během měření (porovnání klimatických podmínek dle ISO 11092 a ASTM E-96).

Tab. 3 Materiálové složení vzorků textilií

Vzorky 1 – 3	2vrstvý laminát s neporézní membránou; uváděná paropropustnost 10 000 g.m ² /24h
Vzorky 4 – 6	2vrstvý laminát s neporézní membránou; uváděná paropropustnost 5 000 g.m ² /24h
Vzorky 7 – 9	DWR – vodoodpudivá úprava
Vzorky 10 – 12	3vrstvý laminát s mikroporézní membránou

U všech vzorků textilií byl jako vrchový materiál použit 100% polyester.

Následně byl sledován vliv doby měření na výslednou hodnotu absolutní propustnosti pro vodní páry.

Výše uvedené normy, ať už evropské, asijské nebo americké, uvádějí postup měření paropropustnosti zjednodušeně řečeno takto: měření propustnosti pro vodní páry by mělo být prováděno po dobu 7 hodin (z experimentu bude získáno 6 úbytků hmotnosti sestavy, které přesně odpovídají prostupu vodní páry skrz danou textilií). Výsledné hodnoty by se měly vynásobit čtyřmi, čímž bude získána hodnota propustnosti textilie pro vodní páry jedné sestavy za 24 hodin. K získání klíčové hodnoty je ještě nutné přepočíst plochu kelímku na 1 m² látky.

Pro kontrolu bylo provedeno měření propustnosti pro vodní páry za celých 24 hodin. Tedy například dne 13. 11. 2014 v 8:00 hod. byly všechny sestavy s textiliemi zváženy a vloženy do klimatické komory, čímž bylo měření zahájeno. Vzorky byly ponechány celých 24 hodin v klimatické komoře a následující den, tedy 14. 11. 2014 znovu přesně v 8.00 hod. vyjmuty a následně převáženy, čímž byla zjištěna hodnota úbytku hmotnosti (prostupu vodní páry skrz textilií za 24 hodin).

Jak hodnoty měřené dle normy (6 hodin x 4), tak hodnoty získané měřením za 24 hodin byly porovnány. Výsledkem bylo zjištění, že se hodnoty z obou postupů měření liší řádově v setinách, tudíž lze měření dle norem považovat za směrodatné a lze ho brát jako objektivní postup při měření v této diplomové práci. Jinými slovy lze tedy říci, že je skutečně možné testovat propustnost textilie pro vodní páry po dobu 6 hodin a následně ji přepočítat na 24 hodin.

8.1 Nastavené klimatické podmínky měření

- $t = 23^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 40 \pm 2\%$
- ASTM E-96 method (inverted water method); $t = 23^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 50 \pm 2\%$
- ISO 11092; $t = 35^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 40 \pm 2\%$

8.2 Měření prováděná na přístroji PERMETEST

Na začátku celého experimentu byl použit přístroj zvaný Permetest, patentovaný profesorem Hesem z Technické univerzity v Liberci, který působí na Katedře hodnocení textilií. Pomocí Permetestu byly zjištěny hodnoty výparného odporu – R_{et} všech dvanácti dostupných vzorků textilií. Materiálové složení těchto vzorků textilií je popsáno v tab. 3. Hodnoty výparného odporu textilií jsou uvedeny níže (viz tab. 4). Všechny hodnoty jsou uváděné v jednotkách $[m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}]$.

Tab. 4 Hodnoty propustnosti textilií pro vodní páry získané z přístroje Permetest

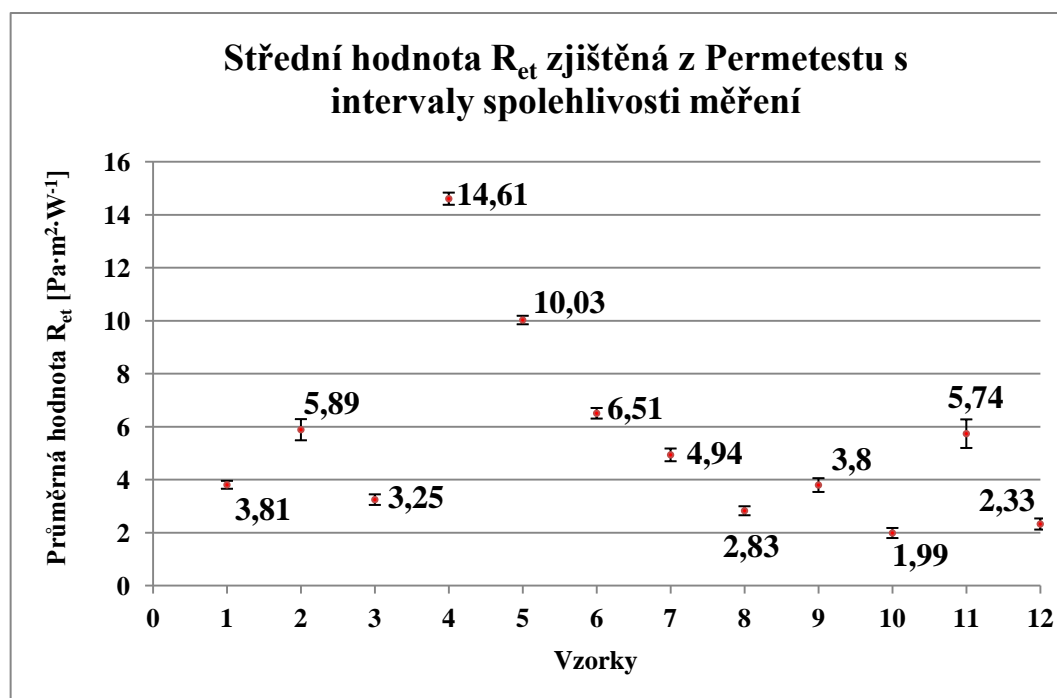
<u>Vzorek</u>	R_{et1}	R_{et2}	R_{et3}	R_{et4}	R_{et5}	R_{et6}	R_{et7}	R_{et8}	R_{et9}	R_{et10}
<u>č. 1</u>	4,2	3,9	3,7	3,4	4,1	3,5	3,8	3,8	4	3,7
<u>č. 2</u>	4,7	5,1	5,9	5,8	5,7	6,2	6,3	6,8	5,6	6,8
<u>č. 3</u>	3,6	3,4	3,2	3,2	3,6	3,4	3,5	2,7	3,3	2,6
<u>č. 4</u>	15	14	14,5	14,2	14,6	15,2	14,6	14,9	14,9	14,2
<u>č. 5</u>	9,9	10,2	9,9	10,3	9,8	10,1	10	9,8	9,7	10,6
<u>č. 6</u>	6,7	6,7	6,7	6,8	6,1	6,9	6,5	5,8	6,3	6,6
<u>č. 7</u>	4,3	4,2	5,2	5,3	5,3	4,8	4,8	5,1	5,1	5,3
<u>č. 8</u>	2,8	2,8	2,7	2,7	3,6	2,9	2,7	2,6	2,7	2,8
<u>č. 9</u>	3,8	2,7	4,2	3,7	3,9	4	3,6	3,8	4,3	4
<u>č. 10</u>	1,9	2,4	2,4	1,9	2,4	2	2	1,4	1,7	1,8
<u>č. 11</u>	6,4	5,4	5,6	4,8	6	5,4	5,3	5,6	4,9	8
<u>č. 12</u>	3	2,3	2,2	2,1	2,1	2,3	2,4	1,7	2,7	2,5

Získané hodnoty z přístroje Permetest byly dále matematicky zpracovány a výsledky zaznamenány. Nejprve byla prostřednictvím klasického aritmetického průměru vypočtena střední hodnota výparného odporu R_{et} všech textilií.

Dále byly vypočteny statistické parametry: směrodatná odchylka, rozptyl, variační koeficient a 95% intervaly spolehlivosti. Vypočtená data jsou uvedena níže (viz tab. 5). Střední hodnoty výparného odporu R_{et} (získané z Permetestu) byly spolu s intervaly spolehlivosti (určené jako chybové úsečky) zaznamenány do grafu 1.

Tab. 5 Doplnkové statistické hodnoty k hodnotám získaných z Permetestu

<u>Vzorek</u>	R_{et}- střední hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl	Variační koeficient	95% interval spolehlivosti	
<u>č. 1</u>	3,81	0,24	0,06	6,26	3,66	3,96
<u>č. 2</u>	5,89	0,64	0,41	10,86	5,49	6,29
<u>č. 3</u>	3,25	0,33	0,11	10,14	3,05	3,45
<u>č. 4</u>	14,61	0,37	0,14	2,55	14,38	14,84
<u>č. 5</u>	10,03	0,26	0,07	2,6	9,87	10,19
<u>č. 6</u>	6,51	0,33	0,11	5,02	6,31	6,71
<u>č. 7</u>	4,94	0,39	0,15	7,85	4,70	5,18
<u>č. 8</u>	2,83	0,27	0,07	9,49	2,66	3,00
<u>č. 9</u>	3,8	0,42	0,18	11,04	3,54	4,06
<u>č. 10</u>	1,99	0,31	0,10	15,8	1,80	2,18
<u>č. 11</u>	5,74	0,88	0,77	15,25	5,20	6,28
<u>č. 12</u>	2,33	0,34	0,11	14,5	2,12	2,54



Graf 1 Grafické znázornění střední hodnoty R_{et} s intervaly spolehlivosti

8.2.1 Vyhodnocení výsledků měření prováděných na přístroji Permetest

Na základě výše uvedených naměřených a vypočtených hodnot byly z celkového počtu 12 vzorků textilií vybráni čtyři nejvhodnější kandidáti (dále označované jako textilie 1 – 4) k další fázi prováděného experimentu. Důvodem výběru konkrétních čtyř textilií byly vypočtené střední hodnoty výparného odporu R_{et} a jejich směrodatné odchylky s ohledem na materiálové složení jednotlivých vzorků textilií. Dle klasifikace veličiny R_{et} (uvedené v kapitole 5) byly vybrány po dvou druzích textilií z prvních dvou kategorií.

Konkrétně tedy: Vzorky č. 8 a č. 12, které se díky vypočtené střední hodnotě R_{et} (2,83 a 2,33) řadí do první kategorie, tedy že $R_{et} < 3$. Dále byl vybrán vzorek č. 3, který se svou vypočtenou střední hodnotou $R_{et} = 3,25$ řadí do skupiny $R_{et} < 6$. A jako poslední textilie pro experiment byl vybrán vzorek č. 6, který dosahoval střední hodnoty výparného odporu $R_{et} = 6,51$, a spadal tedy do kategorie $R_{et} 6 - 13$.

8.3 Měření prováděná v klimatické komoře Vötsch

Podstatou prováděného experimentu bylo měření propustnosti vodní páry vzorků textilií při třech nastavených klimatických podmínkách. Základem tohoto měření bylo umístění čtyř sestav do klimatické komory. Všechny čtyři sestavy se skládaly z obyčejného kruhového kelímku od jogurtu, na kterém byla pomocí vteřinového lepidla přichycena polopropustná membrána. Na membránu byl přiložen vzorek textilie (textilie 1 – 4), který byl připevněn pomocí gumičky. Do sestavy bylo pomocí injekční stříkačky aplikováno určité množství vody. Všechny sestavy byly zváženy na digitální váze a údaje o počátečních hmotnostech sestavy m_0 [g] byly zaznamenány. Sestavy připravené výše popsaným způsobem se vložily do klimatické komory, kde byly již nastaveny klimatické podmínky měření (viz kapitola 8.1). Sestavy se vložily dnem kelímku vzhůru tak, že docházelo k přímému kontaktu vody s polopropustnou membránou. Sestavy se zvážily nejprve v počáteční dobu t_0 [hod] a po uplynutí jedné hodiny byly z klimatické komory vyjmuty a převáženy. Tento princip se opakoval po dobu sedmi hodin, respektive bylo získáno šest úbytků hmotnosti ($t_1 - t_6$), které přesně odpovídaly šesti údajům o propustnosti vodní páry skrz konkrétní textilii ($p'_0 - p'_6$).

Dle příslušných norem byly pomocí jednoduchého propočtu získány hodnoty propustnosti vodních pár skrz čtyři vybrané druhy textilií v jednotkách [$\text{g} \cdot \text{m}^2 / 24\text{h}$]. Pro zjištění žádoucí hodnoty propustnosti vodní páry byl použit přepočet plochy 1 kelímku na jeden metr čtverečný. Jeden kelímek byl o velikosti 6 cm v průměru, přepočteno na $0,002827 \text{ m}^2$, tudíž bylo počítáno s hodnotou 353,68.

Vypočtené hodnoty paropropustnosti textilií 1 – 4 jsou uvedeny v tab. 6 – 25.

Vlivy změn klimatických podmínek na výši paropropustnosti textilií 1 – 4 jsou znázorněny na grafech 2 – 9.

8.3.1 Hodnoty propustnosti vodní páry skrz textilie 1 - 4 při testování dle normy ASTM E-96 - $t = 23^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 50 \pm 2\%$

Textilie 1

Tab. 6 Množství prostupu vlhkosti textilie 1 [g]

m_0	p'_1	p'_2	p'_3	p'_3	p'_5	p'_6	p'_a (za 24h skrz vzorek)	p'_b (Za 24h skrz 1m^2)
49,102	0,891	0,820	0,719	0,718	0,881	0,913	19,77	6992
48,053	0,804	0,787	0,800	0,633	0,694	0,742	17,84	6310
49,806	1,084	0,718	0,769	0,737	0,821	0,772	19,60	6934
48,305	0,689	0,810	0,695	0,703	0,783	0,913	18,37	6498
48,761	0,640	0,760	0,635	0,744	0,844	0,871	17,98	6358
49,038	0,677	0,792	0,732	0,867	0,894	0,867	19,32	6832
48,351	0,825	0,717	0,936	0,709	0,816	0,805	19,23	6802
47,637	0,808	0,876	0,806	0,623	1,008	0,902	20,09	7106
48,959	0,953	0,850	0,987	0,734	1,036	0,941	22,00	7782
50,966	0,755	0,761	0,751	0,800	0,662	0,750	17,92	6336
48,793	0,786	0,682	0,761	0,733	0,627	0,599	16,75	5925
48,119	0,695	0,858	0,769	0,811	0,666	0,763	18,25	6454

Textilie 2*Tab. 7 Množství prostupu vlhkosti textilie 2 [g]*

m₀	p'₁	p'₂	p'₃	p'₃	p'₅	p'₆	p'_a (za 24h skrz vzorek)	p'_b (Za 24h skrz 1m ²)
46,711	0,770	0,668	0,618	0,622	0,629	0,627	15,74	5565
47,403	0,895	0,776	0,686	0,719	0,772	0,739	18,35	6489
48,996	0,863	0,542	0,739	0,721	0,597	0,708	16,61	5874
47,411	0,547	0,623	0,576	0,552	0,675	0,640	14,45	5111
47,993	0,646	0,585	0,606	0,733	0,748	0,872	16,76	5928
48,802	0,667	0,652	0,670	0,707	0,805	0,789	17,16	6069
47,338	0,843	0,744	0,758	0,628	0,848	0,640	17,84	6311
49,092	0,921	0,834	1,040	0,626	0,796	0,858	20,30	7180
50,459	0,670	0,958	0,793	0,597	0,804	0,793	18,46	6529
48,464	0,491	0,451	0,520	0,429	0,389	0,458	10,95	3873
48,002	0,385	0,424	0,494	0,500	0,452	1,449	14,82	5240
50,892	0,381	0,438	0,462	0,444	0,427	0,447	10,40	3677

Textilie 3*Tab. 8 Množství prostupu vlhkosti textilie 3 [g]*

m₀	p'₁	p'₂	p'₃	p'₃	p'₅	p'₆	p'_a (za 24h skrz vzorek)	p'_b (za 24h skrz 1m ²)
47,782	1,420	1,447	1,444	1,241	1,424	1,480	33,82	11963
47,766	0,578	0,560	0,556	0,480	0,512	0,505	12,76	4514
48,511	0,478	0,354	0,517	0,418	0,475	0,557	11,20	3960
48,004	1,000	1,186	1,059	1,415	1,563	1,665	31,55	11159
49,790	0,459	0,550	0,485	0,515	0,535	0,513	12,23	4325
48,641	0,405	0,555	0,413	0,498	0,559	0,428	11,43	4043
48,861	0,510	0,483	0,655	0,436	0,878	0,872	15,34	5424
48,437	0,444	0,572	0,694	0,430	0,601	0,602	13,37	4729
49,631	0,526	0,614	0,587	0,411	0,634	0,628	13,60	4810
47,758	0,615	0,655	0,641	0,749	0,628	0,658	15,78	5582
49,299	0,561	0,710	0,796	0,760	0,624	0,668	16,48	5827
51,494	0,629	0,716	0,774	0,766	0,630	0,713	16,91	5981

Textilie 4*Tab. 9 Množství prostupu vlhkosti textilie 4 [g]*

m₀	p'₁	p'₂	p'₃	p'₃	p'₅	p'₆	p'_a (za 24h skrz vzorek)	p'_b (Za 24h skrz 1m ²)
47,096	0,969	0,681	0,988	0,765	0,768	0,917	20,35	7198
48,006	0,933	0,649	0,795	0,766	0,841	0,752	18,94	6700
47,933	0,577	0,602	0,626	0,595	0,579	0,698	14,71	5202
48,272	0,673	0,656	0,597	0,776	0,645	0,681	16,11	5698
46,604	0,549	0,874	0,608	0,708	0,747	0,696	16,73	5916
47,581	0,593	0,691	0,596	0,811	0,702	0,550	15,77	5578
48,288	0,782	0,998	0,892	0,503	1,222	1,198	22,38	7915
48,032	0,621	0,830	1,014	0,749	0,887	0,936	20,15	7126
48,356	0,832	0,796	0,917	0,568	0,918	0,797	19,31	6830
46,970	0,921	0,685	0,717	0,846	0,644	0,776	18,36	6492
47,955	0,849	0,699	0,715	0,716	0,838	0,665	17,93	6341
50,659	0,844	0,710	0,780	0,773	0,758	0,723	18,35	6491

8.3.2 Hodnoty propustnosti vodní páry skrz textilie 1 - 4 dle normy ISO 11092 – t = 35°C, RH = 40 ± 2%

Textilie 1

Tab. 10 Množství prostupu vlhkosti textilie 1 [g]

m₀	p'₁	p'₂	p'₃	p'₃	p'₅	p'₆	p'_a (za 24h skrz vzorek)	p'_b (za 24h skrz 1m ²)
47,923	0,754	0,861	0,897	0,835	0,808	0,853	20,03	7085
47,351	0,702	0,898	0,848	0,747	0,703	0,717	18,46	6529
48,753	0,710	0,940	0,768	0,879	0,899	0,954	20,60	7286
48,836	0,747	0,898	1,126	0,800	0,783	0,958	21,25	7515
48,313	0,857	0,904	0,970	0,803	0,900	0,873	21,23	7508
53,721	0,792	0,756	1,046	0,866	0,829	0,881	20,68	7314
49,067	0,920	1,138	1,066	1,417	1,101	1,119	27,04	9565
47,834	0,904	1,101	1,095	1,327	1,005	1,005	25,75	9107
47,947	1,018	1,301	1,122	1,417	1,121	1,305	29,14	10305
54,486	1,257	1,236	1,180	1,036	1,180	1,180	28,28	10001
53,422	1,163	1,223	1,134	1,007	0,998	1,229	27,02	9555
52,829	1,175	1,298	1,227	1,052	1,263	1,220	28,94	10235
51,379	1,243	1,221	1,052	1,204	0,864	1,133	26,87	9503
48,908	1,186	1,209	1,247	1,130	1,163	1,141	28,30	10011
49,456	1,166	1,245	1,169	1,195	1,281	0,978	28,14	9951

Textilie 2

Tab. 11 Množství prostupu vlhkosti textilie 2 [g]

m_0	p'_1	p'_2	p'_3	p'_3	p'_5	p'_6	p'_a (za 24h skrz vzorek)	p'_b (za 24h skrz 1m ²)
47,811	0,669	0,801	0,885	0,845	0,784	0,761	18,98	6713
46,673	0,822	0,760	0,924	0,741	0,824	0,720	19,16	6778
49,066	0,635	0,957	0,939	0,764	0,870	0,800	19,86	7024
47,338	0,779	0,827	0,891	0,770	0,704	0,678	18,60	6577
46,925	0,974	0,750	0,949	0,811	0,723	0,726	19,73	6979
48,913	0,612	0,777	0,919	0,791	0,851	0,897	19,39	6857
49,049	0,649	1,080	0,919	1,145	0,775	0,927	21,98	7774
47,225	0,701	0,956	0,994	1,141	0,867	0,863	22,09	7812
48,014	0,701	0,905	0,915	1,178	0,775	0,825	21,20	7497
53,494	1,012	0,963	0,918	0,849	1,053	0,897	22,77	8053
52,951	0,942	0,901	0,955	0,778	0,920	0,922	21,67	7665
53,815	0,896	0,928	0,967	0,787	0,811	0,820	20,84	7369
49,727	0,980	0,937	0,877	0,917	0,890	0,921	22,09	7812
49,078	0,978	0,988	1,163	0,938	0,925	0,879	23,48	8306
49,332	0,917	0,889	0,947	0,857	0,853	1,048	22,04	7796

Textilie 3*Tab. 12 Množství prostupu vlhkosti textilie 3 [g]*

m₀	p'₁	p'₂	p'₃	p'₃	p'₅	p'₆	p'_a (za 24h skrz vzorek)	p'_b (za 24h skrz 1m ²)
48,205	0,522	0,570	0,554	0,534	0,444	0,690	13,26	4688
47,484	0,552	0,573	0,545	0,595	0,410	0,445	12,48	4144
48,146	0,613	0,594	0,584	0,522	0,530	0,506	13,40	4738
48,118	0,527	1,834	0,715	1,443	0,810	0,907	24,94	8822
46,777	0,623	0,695	1,447	0,070	0,617	0,640	16,37	5789
50,173	0,585	0,621	0,831	0,727	0,638	0,719	16,48	5830
47,024	1,206	1,506	1,217	1,451	0,997	1,315	30,77	10882
48,644	1,032	1,382	1,409	1,693	1,074	1,383	31,89	11280
47,342	0,914	1,259	1,416	1,412	1,182	1,275	29,83	10551
52,498	1,390	1,157	1,397	0,984	1,149	1,264	29,36	10385
53,533	1,348	1,307	1,265	0,973	1,190	1,271	29,42	10404
52,480	1,424	1,285	1,283	0,875	1,182	1,257	29,22	10336
48,943	1,411	1,296	1,271	1,161	1,187	1,243	30,28	10708
49,428	1,181	1,196	1,216	1,132	1,360	1,215	29,20	10327
47,362	1,279	1,263	1,316	1,236	1,198	1,267	30,24	10694

Textilie 4*Tab. 13 Množství prostupu vlhkosti textilie 4 [g]*

m₀	p'₁	p'₂	p'₃	p'₃	p'₅	p'₆	p'_a (za 24h skrz vzorek)	p'_b (za 24h skrz 1m ²)
46,941	0,880	0,927	0,812	0,694	0,832	0,901	20,18	7139
47,273	0,870	0,854	0,838	0,908	0,811	0,874	20,62	7293
47,236	0,875	0,974	0,941	0,845	1,190	0,702	22,11	7819
46,495	0,902	0,704	0,884	1,070	0,892	0,837	21,16	7482
48,578	0,852	1,012	1,009	0,828	0,779	0,779	21,04	7440
46,164	0,818	0,843	1,252	0,934	0,839	0,986	22,69	8024
47,407	1,087	1,570	1,186	1,559	1,218	1,558	32,71	11570
47,075	1,194	1,428	1,245	1,349	1,031	1,316	30,25	10699
46,648	1,509	1,526	1,356	1,741	1,153	1,447	34,93	12353
52,008	1,537	1,270	1,292	1,351	1,166	1,386	32,01	11321
51,713	1,779	1,298	1,397	1,082	1,283	1,382	32,88	11630
51,350	2,207	1,180	1,190	1,285	1,384	1,109	33,42	11820
47,235	1,229	1,435	1,346	1,243	1,219	1,347	31,28	11062
48,132	1,289	1,336	1,311	1,314	1,396	1,380	32,10	11354
47,573	1,310	1,295	1,283	1,341	1,318	1,201	30,99	10961

8.3.3 Hodnoty propustnosti vodní páry skrz textilie 1 - 4 při změněných klimatických podmínkách - $t = 23^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 40 \pm 2\%$

Textilie 1

Tab. 14 Množství prostupu vlhkosti textilie 1 [g]

m_0	p'_1	p'_2	p'_3	p'_3	p'_5	p'_6	p'_a (za 24h skrz vzorek)	p'_b (za 24h skrz 1m^2)
48,426	0,745	0,625	0,544	1,915	1,031	0,889	23,00	8133
48,214	0,729	0,812	0,914	0,956	1,002	1,006	21,68	7666
50,748	0,697	0,948	0,984	0,921	0,973	0,894	21,67	7663
48,736	1,038	0,687	0,944	0,734	0,807	0,858	20,27	7170
49,401	1,083	0,812	0,965	0,863	0,966	0,896	22,34	7901
50,628	1,021	0,786	0,986	0,872	0,956	0,790	21,64	7655
50,201	0,632	0,961	0,770	0,809	0,680	0,686	18,15	6420
49,304	0,941	0,720	0,749	0,838	0,733	0,619	18,40	6508
48,534	0,907	0,793	0,829	0,988	0,801	0,878	20,78	7351
49,988	0,814	0,842	0,798	0,906	0,765	0,915	20,16	7130
48,004	0,993	0,689	0,867	0,800	0,753	0,808	19,64	6946
48,530	1,028	0,767	0,921	0,760	0,787	0,818	20,32	7188

Textilie 2*Tab. 15 Množství prostupu vlhkosti textilie 2 [g]*

m₀	p'₁	p'₂	p'₃	p'₃	p'₅	p'₆	p'_a (za 24h skrz vzorek)	p'_b (za 24h skrz 1m ²)
47,695	0,709	0,889	0,824	0,802	1,010	0,957	20,76	7344
47,041	0,779	0,961	0,959	0,895	0,912	0,858	21,46	75 89
50,148	0,653	0,918	0,806	0,897	0,803	0,764	19,36	6849
49,804	0,961	0,618	0,926	0,756	0,745	0,794	19,20	6791
48,891	0,987	0,723	0,828	0,829	0,825	0,857	20,20	7143
51,112	1,099	0,665	0,995	0,799	0,790	0,712	20,24	7158
48,970	0,565	0,508	0,533	0,654	0,511	0,541	13,25	4686
48,432	0,389	0,525	0,596	0,630	0,504	0,526	12,68	4485
50,004	0,597	0,479	0,575	0,579	0,496	0,629	13,42	4746
49,836	0,771	0,463	0,666	0,496	0,492	0,574	13,85	4898
48,165	0,608	0,655	0,539	0,641	0,423	0,677	14,17	5012
50,043	0,794	0,492	0,585	0,490	0,496	0,634	13,96	4939

Textilie 3*Tab. 16 Množství prostupu vlhkosti textilie 3 [g]*

m₀	p'₁	p'₂	p'₃	p'₃	p'₅	p'₆	p'_a (za 24h skrz vzorek)	p'_b (za 24h skrz 1m ²)
49,715	0,500	0,671	0,496	0,590	0,706	0,746	14,84	5247
48,297	0,478	0,690	0,618	0,577	0,642	0,589	14,38	5084
49,513	0,429	0,626	0,593	0,584	0,765	0,694	14,76	5222
50,006	0,685	0,504	0,610	0,544	0,586	0,519	13,79	4878
49,534	0,753	0,540	0,590	0,590	0,677	1,066	16,86	5964
51,877	0,709	0,556	0,669	0,532	0,602	0,621	14,76	5219
49,376	0,850	0,743	0,851	0,992	0,780	0,795	20,04	7089
50,253	0,871	0,877	0,737	0,861	0,748	0,877	19,88	7033
50,421	0,998	0,924	0,847	0,945	0,747	0,896	21,43	7579
50,628	1,042	0,907	0,714	0,755	0,736	1,582	22,95	8115
50,747	1,044	0,734	0,952	0,755	1,116	0,945	22,18	7846
48,463	1,079	0,891	0,934	0,965	0,844	0,933	22,58	7987

Textilie 4*Tab. 17 Množství prostupu vlhkosti textilie 4 [g]*

m₀	p'₁	p'₂	p'₃	p'₃	p'₅	p'₆	p'_a (za 24h skrz vzorek)	p'_b (za 24h (skrz 1m ²))
47,124	0,732	0,966	0,899	0,935	1,000	0,984	22,06	7804
47,722	0,815	0,995	1,075	0,933	0,928	0,982	22,91	8103
48,047	0,709	0,827	0,810	1,017	1,016	0,963	21,37	7557
48,921	0,960	0,760	0,853	0,892	0,854	1,051	21,48	7597
48,261	1,110	0,629	0,761	0,789	0,859	0,745	19,57	6922
48,272	1,063	0,750	1,007	0,737	0,854	0,874	21,14	7477
48,039	0,830	1,086	0,833	1,018	0,787	0,908	21,85	7727
48,225	0,918	0,886	0,913	0,995	0,846	0,959	22,07	7805
48,136	0,895	0,883	0,962	0,919	0,894	0,972	22,10	7816
48,232	1,189	0,773	0,956	0,793	0,544	0,849	20,42	7221
48,172	0,859	0,686	0,744	0,875	0,866	0,960	19,96	7059
48,309	0,727	0,913	0,887	0,879	0,900	0,846	20,61	7289

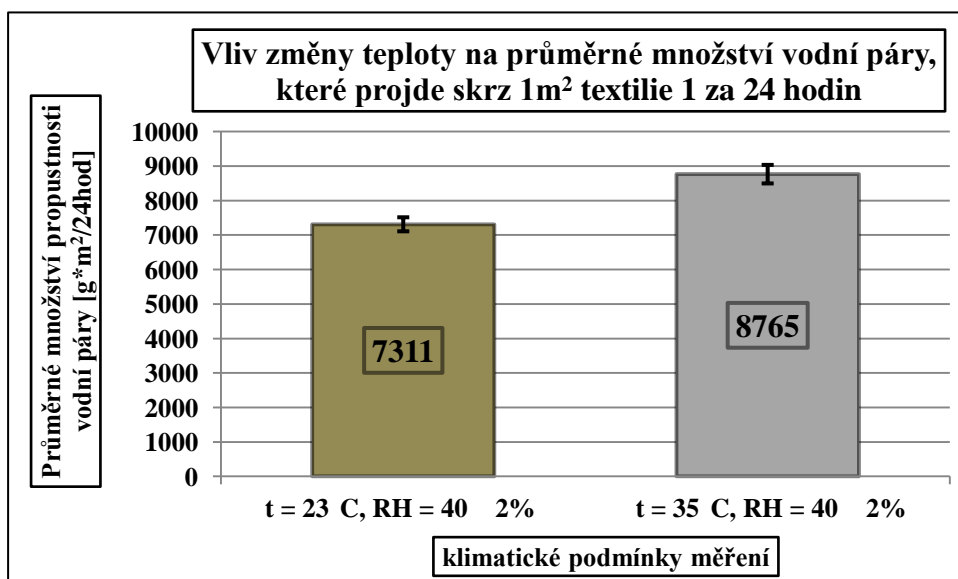
8.4 Vyhodnocení výsledků měření prováděných v klimatické komoře Vötsch

Textilie 1

Vliv změny teploty na výši propustnosti vodní páry skrz 1m² textilie 1

Tab. 18 Naměřené hodnoty paropropustnosti textilie 1 [g*m²/24h]

1	2	
t = 23°C RH=40%	t = 35°C RH=40%	
7311	8765	Průměr
7026	8096	95% interval spolehlivosti
7596	9434	
± 285	± 669	Chyba



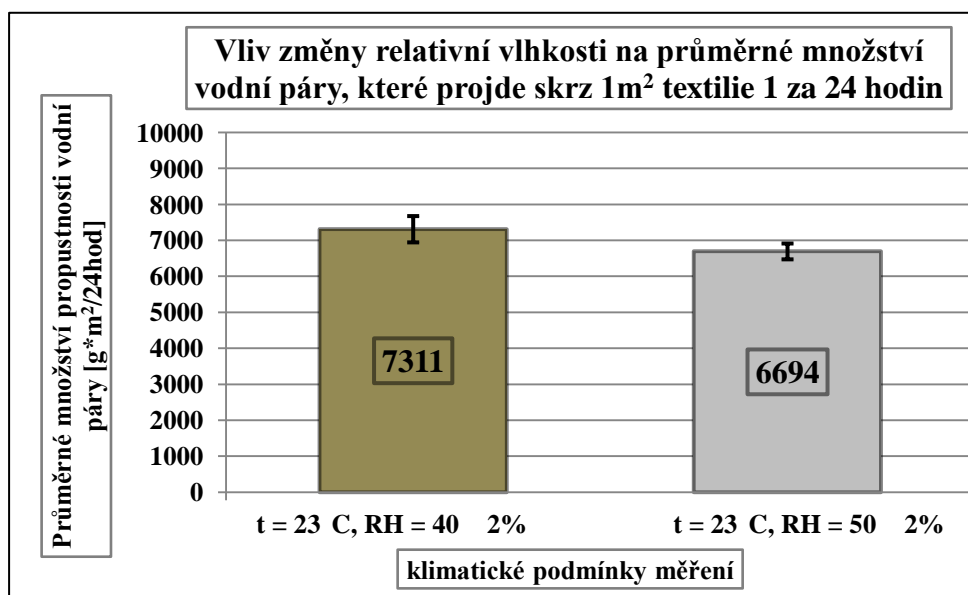
Graf 2 Vliv změny teploty na paropropustnost textilie 1

Intervaly spolehlivosti se nepřekrývají, proto lze měření považovat za statisticky významné. **Vliv změny teploty na výši paropropustnosti textilie 1 je statisticky významný.**

Textilie 1

Vliv změny relativní vlhkosti na výši propustnosti vodní páry skrz 1m² textilie 1Tab. 19 Naměřené hodnoty paropropustnosti textilie 1 [g*m²/24h]

1	2	
t = 23°C RH=40%	t = 23°C RH=50%	
7311	6694	Průměr
7026	6430	95% interval spolehlivosti
7596	6958	
± 285	± 264	Chyba



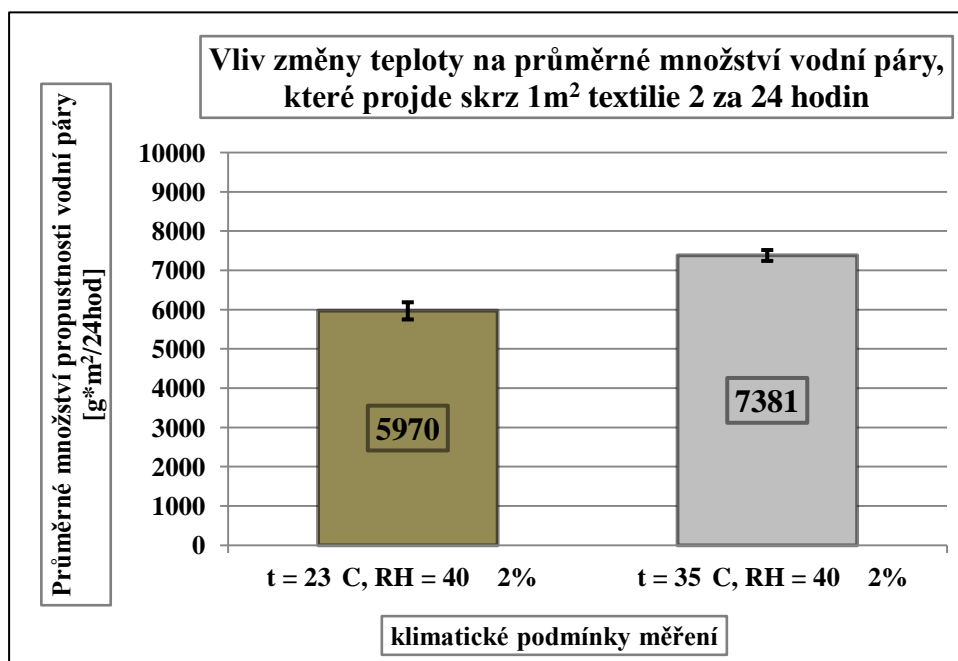
Graf 3 Vliv změny relativní vlhkosti na paropropustnost textilie 1

Intervaly spolehlivosti se nepřekrývají, proto lze měření považovat za statisticky významné. Vliv změny relativní vlhkosti na výši paropropustnosti textilie 1 je statisticky významný.

Textilie 2

Vliv změny teploty na výši propustnosti vodní páry skrz 1m² textilie 2Tab. 20 Naměřené hodnoty paropropustnosti textilie 2 [g*m²/24h]

1	2	
t = 23°C RH=40%	t = 35°C RH=40%	
5970	7381	Průměr
5292	7105	95% interval spolehlivosti
6648	7656	
± 678	± 276	Chyba



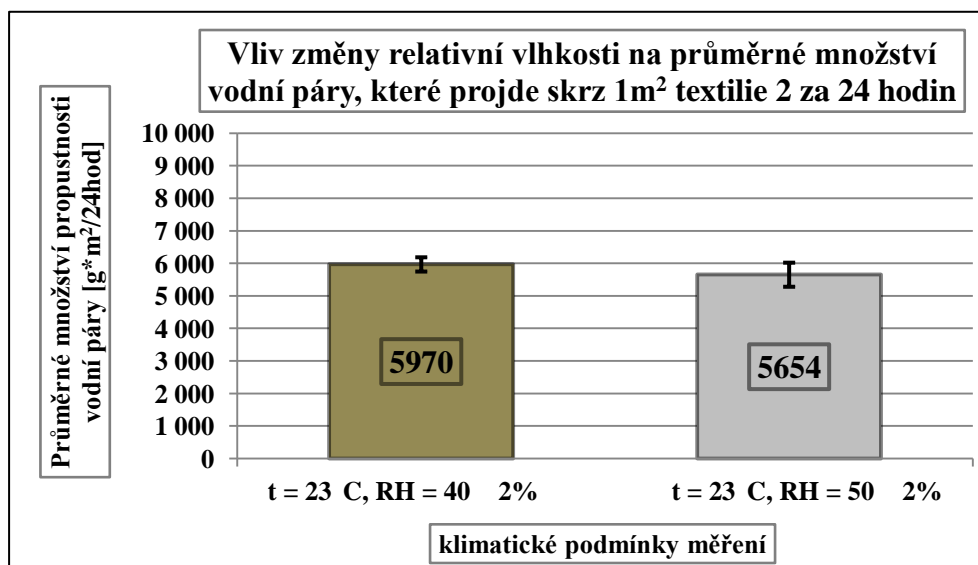
Graf 4 Vliv změny teploty na paropropustnost textilie 2

Intervaly spolehlivosti se nepřekrývají, proto lze měření považovat za statisticky významné. **Vliv změny teploty na výši paropropustnosti textilie 2 je statisticky významný.**

Textilie 2

Vliv změny relativní vlhkosti na výši propustnosti vodní páry skrz 1m² textilie 2Tab. 21 Naměřené hodnoty paropropustnosti textilie 2 [g*m²/24h]

1	2	
t = 23°C RH=40%	t = 23°C RH=50%	
5970	5654	Průměr
5292	5086	95% interval spolehlivosti
6648	6221	
± 678	± 568	Chyba



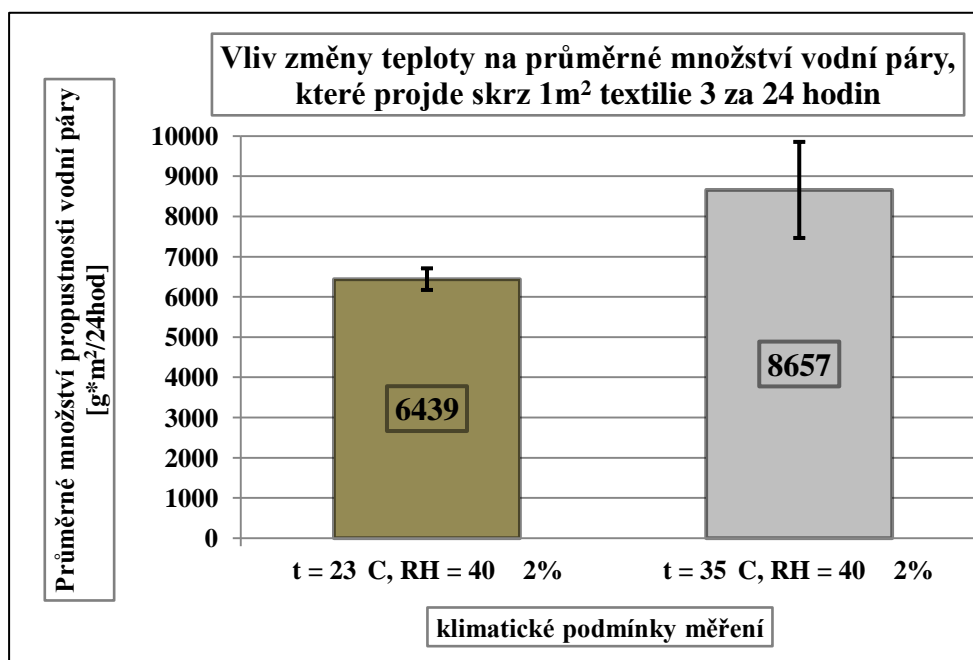
Graf 5 Vliv změny relativní vlhkosti na paropropustnost textilie 2

Intervaly spolehlivosti se překrývají, proto lze měření považovat za statisticky nevýznamné. Z hodnot měření uvedených v příloze diplomové práce je ovšem vidět, že je zde velká variabilita měření daná pravděpodobně nerovnoměrným zátěrem textilie 2. **Vliv změny relativní vlhkosti na výši paropropustnosti textilie 2 je statisticky nevýznamný.**

Textilie 3

Vliv změny teploty na výši propustnosti vodní páry skrz 1m² textilie 3Tab. 22 Naměřené hodnoty paropropustnosti textilie 3 [g*m²/24h]

1	2	
t = 23°C RH=40%	t = 35°C RH=40%	
6439	8657	Průměr
5743	7345	95% interval spolehlivosti
7134	9968	
± 696	± 1312	Chyba



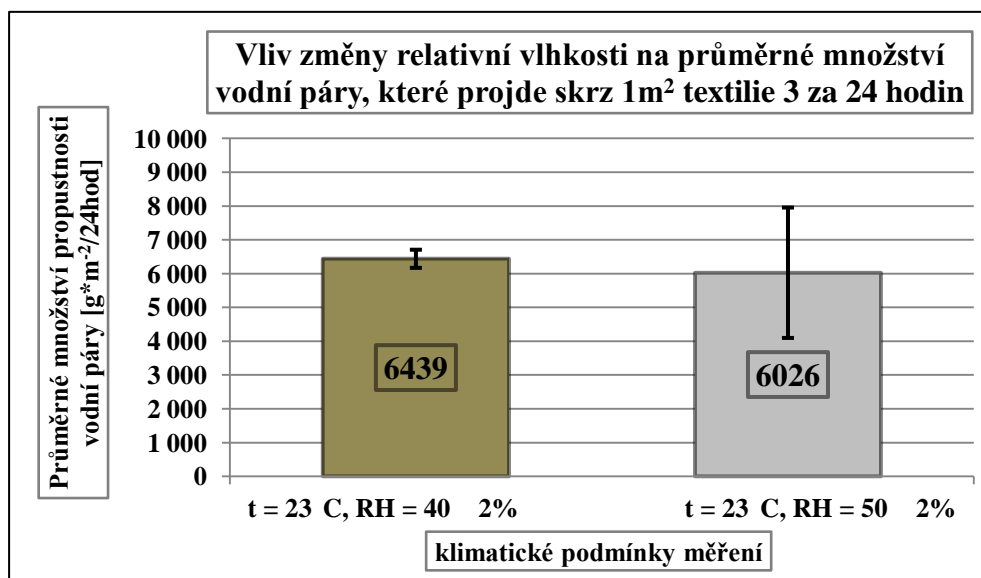
Graf 6 Vliv změny teploty na paropropustnost textilie 3

Intervaly spolehlivosti se nepřekrývají, proto lze měření považovat za statisticky významné. Vliv změny teploty na výši paropropustnosti textilie 3 je statisticky významný.

Textilie 3

Vliv změny relativní vlhkosti na výši propustnosti vodní páry skrz 1m² textilie 3Tab. 23 Naměřené hodnoty paropropustnosti textilie 3 [g*m²/24h]

1	2	
t = 23°C RH=40%	t = 23°C RH=50%	
6439	6026	Průměr
5743	4577	95% interval spolehlivosti
7134	7476	
± 696	± 1449	Chyba



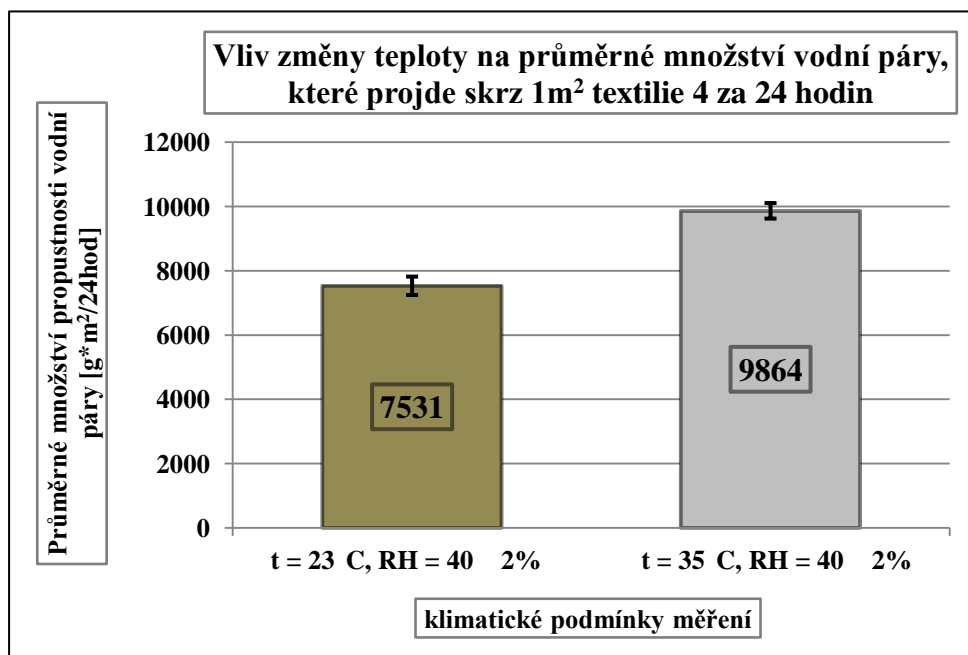
Graf 7 Vliv změny relativní vlhkosti na paropropustnost textilie 3

Intervaly spolehlivosti se překrývají, proto lze měření považovat za statisticky nevýznamné. Z hodnot měření uvedených v příloze diplomové práce je ovšem vidět, že je zde velká variabilita měření daná pravděpodobně nerovnoměrnou vodoodpudivou úpravou na textili 3. **Vliv změny relativní vlhkosti na výši paropropustnosti textilie 3 je statisticky nevýznamný.**

Textilie 4

Vliv změny teploty na výši propustnosti vodní páry skrz 1m² textilie 4Tab. 24 Naměřené hodnoty paropropustnosti textilie 4 [g*m²/24h]

1	2	
t = 23°C RH=40%	t = 35°C RH=40%	
7531	9864	Průměr
7341	8879	95% interval spolehlivosti
7721	10849	
± 190	± 985	Chyba



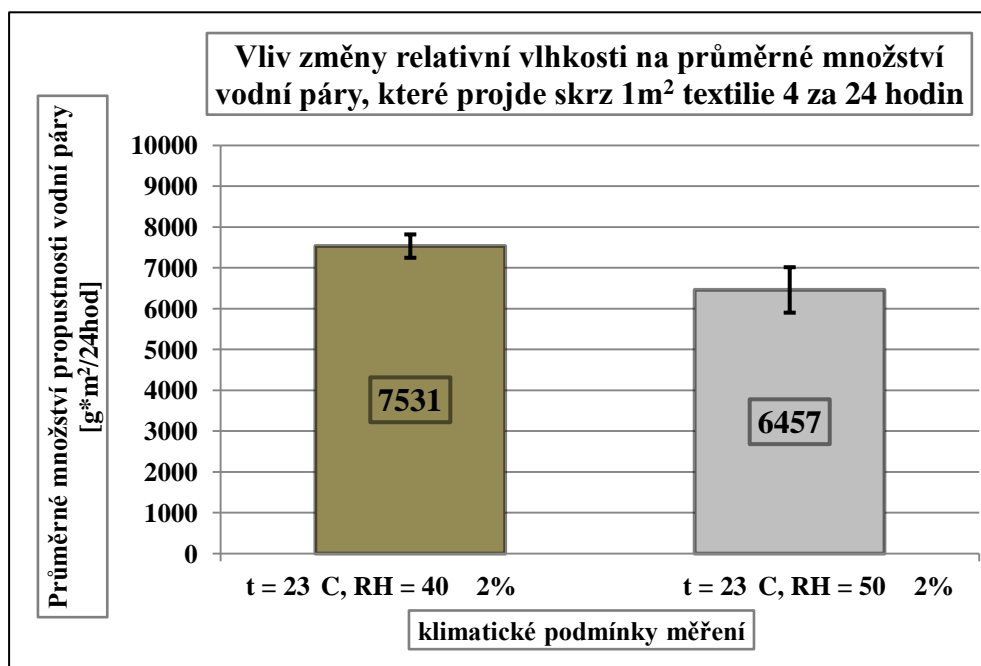
Graf 8 Vliv změny teploty na paropropustnost textilie 4

Intervaly spolehlivosti se nepřekrývají, proto lze měření považovat za statisticky významné. Vliv změny teploty na výši paropropustnosti textilie 4 je statisticky významný.

Textilie 4

Vliv změny relativní vlhkosti na výši propustnosti vodní páry skrz 1m² textilie 4Tab. 25 Naměřené hodnoty paropropustnosti textilie 4 [g*m²/24h]

1	2	
t = 23°C RH=40%	t = 23°C RH=50%	
7531	6457	Průměr
7341	6039	95% interval spolehlivosti
7721	6875	
± 190	± 418	Chyba



Graf 9 Vliv změny relativní vlhkosti na paropropustnost textilie 4

Intervaly spolehlivosti se nepřekrývají, proto lze měření považovat za statisticky významné. Vliv změny relativní vlhkosti na výši paropropustnosti textilie 4 je statisticky významný.

9. Vyhodnocení diplomové práce

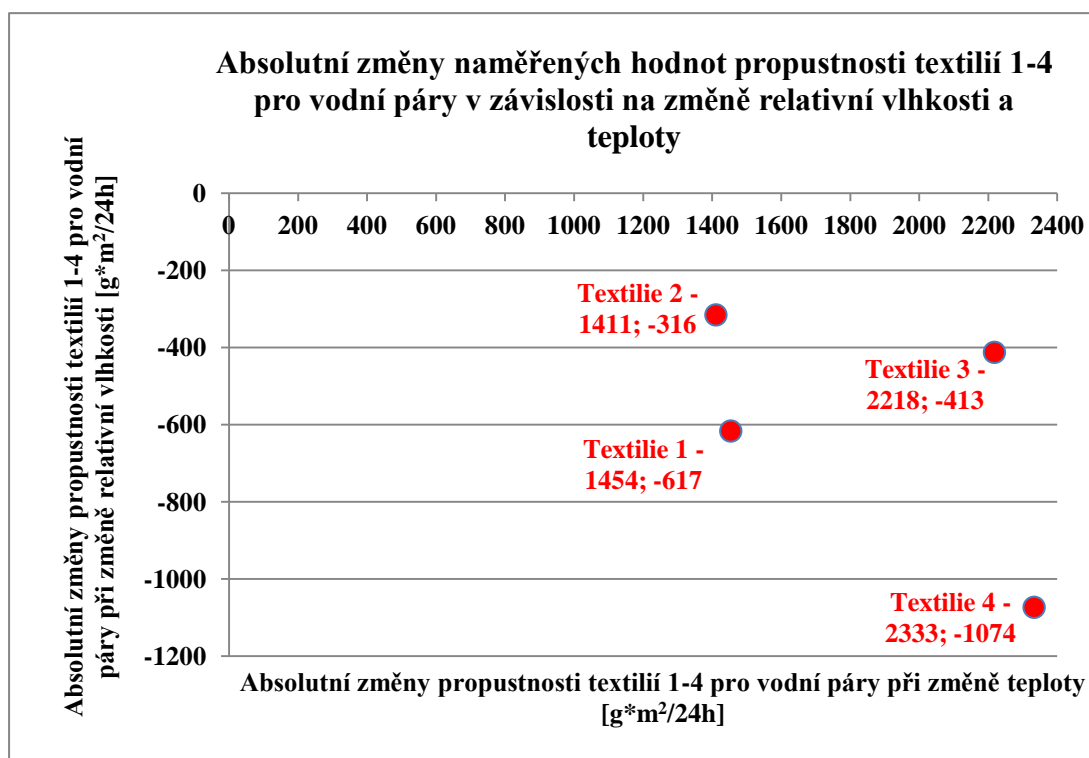
Jako výstup z diplomové práce byly vyčísleny, graficky znázorněny a okomentovány absolutní a relativní změny paropropustnosti při změnách klimatických podmínek. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 26.

Tab. 26 Hodnoty absolutních a relativních změn propustnosti textilií 1 – 4 při různých klimatických podmínkách [$g \cdot m^2 / 24h$]

<u>Změna teploty</u>		<u>Textilie 1</u>	<u>Textilie 2</u>	<u>Textilie 3</u>	<u>Textilie 4</u>
X_0	$t = 23^\circ C,$ $RH = 40\%$	7311	5970	6439	7531
X_1	$t = 35^\circ C,$ $RH = 40\%$	8765	7381	8657	9864
Absolutní změna		$X_0 + 1454$	$X_0 + 1411$	$X_0 + 2218$	$X_0 + 2333$
Relativní změna		$X_0 + 19,89\%$	$X_0 + 23,63\%$	$X_0 + 34,45\%$	$X_0 + 30,98\%$

<u>Změna relativní vlhkosti</u>		<u>Textilie 1</u>	<u>Textilie 2</u>	<u>Textilie 3</u>	<u>Textilie 4</u>
X_0	$t = 23^\circ C$ $RH = 40\%$	7311	5970	6439	7531
X_1	$t = 23^\circ C$ $RH = 50\%$	6694	5654	6026	6457
Absolutní změna		$X_0 - 617$	$X_0 - 316$	$X_0 - 413$	$X_0 - 1074$
Relativní změna		$X_0 - 8,44\%$	$X_0 - 5,29\%$	$X_0 - 6,41$	$X_0 - 14,26\%$

X	1454	1411	2218	2333
Y	- 617	- 316	- 413	- 1074



Graf 10 Absolutní změny propustnosti textilií 1-4 pro vodní páry

Při pohledu na graf 10 je zřejmé, že vypovídá o absolutních změnách naměřených hodnot propustnosti textilií 1 – 4 pro vodní páry v závislosti na změně relativní vlhkosti a změně teploty. Došlo-li během experimentu ke zvýšení teploty v klimatické komoře z původních 23°C na 35°C, vzrostla i propustnost pro vodní páry skrz všechny zkoumané textilie. Konkrétně u textilie 1 o 1454 [g*m²/24h], u textilie 2 o 1411 [g*m²/24h], u textilie 3 o 2218 [g*m²/24h] a u textilie 4 o 2333 [g*m²/24h]. Naproti tomu došlo-li během experimentu ke zvýšení relativní vlhkosti v klimatické komoře z původních 40% na 50%, u všech zkoumaných textilií propustnost pro vodní páry klesla. Konkrétně u textilie 1 o 617 [g*m²/24h], u textilie 2 o 316 [g*m²/24h], u textilie 3 o 413 [g*m²/24h] a u textilie 4 o 1074 [g*m²/24h].

Matematickými výpočty bylo zjištěno:

textilie 2 – textilie 1

změna teploty – nárůst absolutní hodnoty propustnosti textilie pro vodní páry o 3,07%

změna relativní vlhkosti – nárůst absolutní hodnoty propustnosti textilie pro vodní páry o 95,25%

textilie 3 – textilie 4

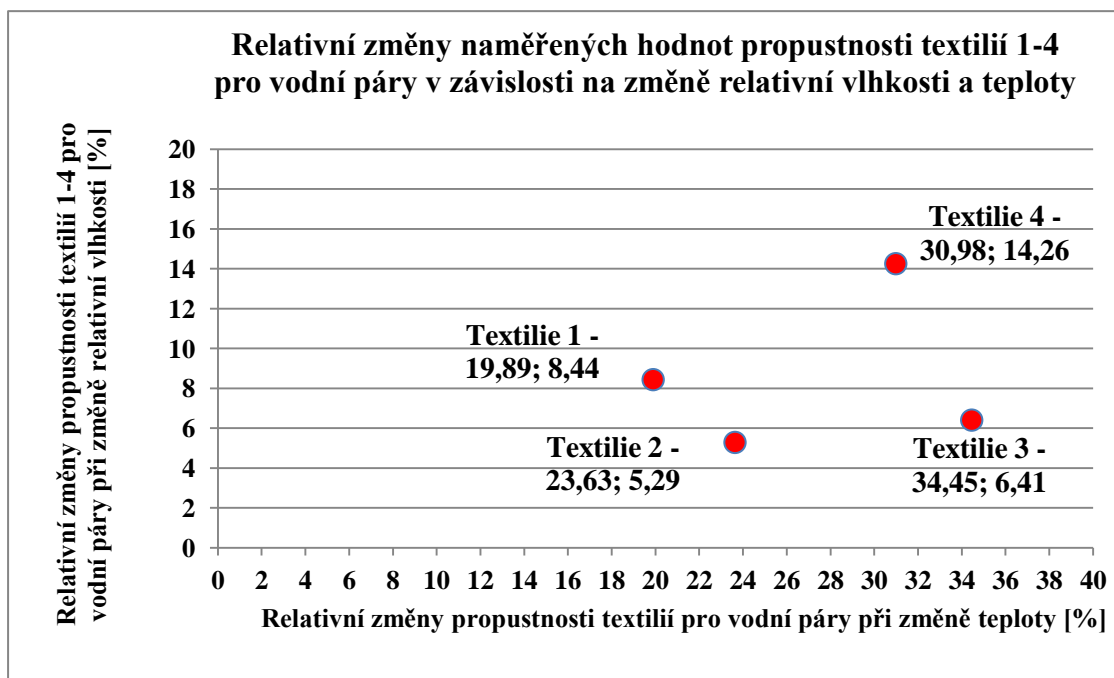
změna teploty – nárůst absolutní hodnoty propustnosti textilie pro vodní páry o 5,18%

změna relativní vlhkosti – nárůst absolutní hodnoty propustnosti textilie pro vodní páry o 160,05%

Při porovnání procentuálních nárůstů absolutních hodnot propustnosti textilií pro vodní páry u jednotlivých klimatických podmínek (teploty a relativní vlhkosti) bylo zjištěno následující: Procentuální změna nárůstů absolutních hodnot propustnosti textilií pro vodní páry mezi textiliemi 2 – 1 a textiliemi 3 – 4 při změně teploty v klimatické komoře (z 3,07% na 5,18%) přesně odpovídá procentuelní změně nárůstů absolutních hodnot propustnosti textilií pro vodní páry mezi textiliemi 2 – 1 a textiliemi 3 – 4 při změně relativní vlhkosti v klimatické komoře (z 95,25% na 160,05%). Konkrétně se jedná o navýšení absolutních hodnot propustnosti textilií pro vodní páry o 168%.

Zjednodušeně lze tedy říci, že při změně klimatických podmínek v klimatické komoře vykazují textilie 1 a textilie 2 shodné vlastnosti, co se propustnosti pro vodní páry týče. Shodné vlastnosti, co se propustnosti pro vodní páry týče, vykazují také textilie 3 a textilie 4.

X	19,89	23,63	34,45	30,98
Y	8,44	5,29	6,41	14,26



Graf 11 Relativní změny propustnosti textilií 1-4 pro vodní páry

Pohled na graf 11 nám říká, že se jedná o přepočet absolutních na relativní změny hodnot propustnosti textilií pro vodní páry v závislosti na změně relativní vlhkosti a teploty, který by byl kvalitním důkazem k výše uvedené domněnce o shodnosti vlastností textilií. Z umístění bodů relativních změn propustnosti textilií pro vodní páry lze usuzovat, že výše uvedená domněnka o shodnosti vlastností propustnosti pro vodní páry mezi textiliemi 1 a 2 a textiliemi 3 a 4 je pravdivá.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo vyhodnocení paropropustnosti u vybraných vzorků textilií. Z materiálové základny byly hodnoceny celkem 4 typy vzorků textilií. Jako stěžejní experimenty byly použity metody stanovení výparného odporu na přístroji Permetest a dále měření paropropustnosti pomocí klimatické komory Vötsch při daných klimatických podmínkách. Hodnotil se vliv teploty prostředí a relativní vlhkosti prostředí na výši paropropustnosti. Získané výsledky paropropustnosti a výparného odporu byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny do příslušných tabulek a grafů.

Testování paropropustnosti, uvedené v této diplomové práci, ukázalo, že jak změna teploty, tak změna relativní vlhkosti má na výši paropropustnosti textilie výrazný vliv.

Při zvýšení teploty z 23°C na 35°C se paropropustnost všech testovaných textilií zvýšila. Obecně lze tedy říci, že pokud bude mít člověk na sobě oblečení ušité z některých z testovaných textilií, tak se při zvýšení okolní teploty z 23°C na 35°C pod oblečením bude pochopitelně více potit, ale propustnost vodní páry (v tomto případě potu) textilie bude lepší, tudíž bude oblečení propouštět více vodní páry, což je při vyšších teplotách okolního prostředí pro komfort nositele důležité.

Při zvýšení relativní vlhkosti okolí z 40% na 50% se paropropustnost všech testovaných textilií snížila. Obecně lze tedy konstatovat, že člověk, mající na sobě oblečení složené z některých testovaných textilií, bude při zvýšení relativní vlhkosti okolního vzduchu z 40% na 50% pociťovat opačné pocity než při změně teploty. Při zvýšení relativní vlhkosti je tedy propustnost textilie pro vodní páry horší, tudíž bude oblečení propouštět méně vodní páry, což znamená, že se člověk pod daným oblečením bude cítit hůře. Jak vidno, změna relativní vlhkosti má oproti změně teploty zcela opačný efekt.

Z výsledků je dále zřejmé, že při kombinaci vyšší teploty a nižší relativní vlhkosti prokazují všechny testované druhy materiálů vyšší propustnost pro vodní páry. Má-li tedy výrobce oděvu k dispozici od výrobce materiálu několik druhů textilií s deklarovanou výší paropropustnosti (např. 10 000 g/m²/24h, či 5 000 g/m²/24h), musí samozřejmě brát ohled na klimatické podmínky měření, dle kterých byly materiály testovány. Obecně lze říci, že jako směrodatnou výši paropropustnosti lze brát hodnotu, která byla zjištěna z měření při vyšší teplotě a nižší relativní vlhkosti.

Z výsledků experimentu vlivu doby měření na výslednou hodnotu paropropustnosti je zřejmé, že se hodnoty z obou postupů (6 hodin x 4; celých 24 hodin) liší řádově v setinách jednotek. Lze tedy konstatovat, že vliv doby měření paropropustnosti nemá zásadní význam na získané výsledky paropropustnosti. Výsledky získané měřením dle norem lze považovat za správné a směrodatné.

Závěrem lze říci, že získané výsledky korespondují s očekávanými předpoklady (viz lit.). S ohledem na rozsah problematiky by bylo v budoucnu vhodné rozšířit měření nejen o další vzorky textilií, ale také o další podmínky měření.

Seznam zdrojů a použité literatury:

Použitá literatura

- [1] HEMZAL, Karel. *Přenosové jevy v technice prostředí*. 2.vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2007. ISBN 80-01-02924-4
- [2] Hes, Luboš - Sluka, Petr. *Úvod do komfortu textilií*. Vyd.1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-9260 (brož.).
- [3] Růžičková, D.: *Oděvní materiály*, Skriptum, Liberec: TU, 2003, ISBN 80-7083-6822
- [4] doc. Ing. Staněk J. CSc.: *Textilní zbožíznalství – Vláknenné suroviny, příze, nitě*, TU Liberec 2006, vydání druhé, ISBN 80-7372-147-3.
- [5] Vötsch Industrie Technik: Návod k použití klimatické komory Vötsch.

Internetové odkazy

- [6] [http:// www.skolertextilu.cz/predpisy](http://www.skolertextilu.cz/predpisy)
- [7] <http://www.unmz.cz/urad/unmz>

Internetové stránky: Elektronická podoba skript pro předmět Textilní zkušebnictví 1, cit. 7. 5. 2010, dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/ZKT1dil.pdf>

Internetové stránky: Oficiální stránky firmy DIRECT ALPINE, cit. 19. 3. 2010, dostupné z: <http://www.directalpine.cz/>

Internetové stránky: Oficiální stránky firmy Loap, cit. 20. 3. 2010, dostupné z: <http://www.loap.cz/?nav=cz/home/>

Internetové stránky: Oficiální stránky firmy Hannah, cit. 20. 3. 2010, dostupné z: <http://www.hannah.cz/cz/>

Příloha:

Naměřené hodnoty paropropustnosti v klimatické komoře Vötsch, z nichž byly v práci uvedeny jen průměrné hodnoty, intervaly spolehlivosti a chyby měření.

Vliv změny teploty na výši paropropustnosti textilie 1.

1	2	
t = 23°C	t = 35°C	
RH=40%	RH=40%	
8133	7085	
7666	6529	
7663	7286	
7170	7515	
7901	7508	
7655	7314	
6420	9565	<u>Textilie 1</u>
6508	9107	
7351	10305	
7130	10001	
6946	9555	
7188	10235	
-	9503	
	10011	
	9951	
7311	8765	Průměr
7026	8096	95% interval spolehlivosti
7596	9434	
± 285	± 669	Chyba

1	2	
t = 23°C RH=40%	t = 23°C RH=50%	
8133	6992	
7666	6310	
7663	6934	
7169	6498	
7901	6358	
7655	6832	
6420	6802	
6508	7106	<u>Textilie 1</u>
7351	7782	
7130	6336	
6949	5925	
7188	6454	
7311	6694	Průměr
7026	6430	95% interval spolehlivosti
7596	6958	
± 285	± 264	Chyba

Vliv změny relativní vlhkosti na výši paropropustnosti textilie 1.

Vliv změny teploty na výši paropropustnosti textilie 2.

1	2	
t = 23°C	t = 35°C	
RH=40%	RH=40%	
7344	6712	
7589	6778	
6849	7024	
6791	6577	
7143	6679	
7158	6857	
4686	7774	
4485	7812	
4746	7497	<u>Textilie 2</u>
4898	8053	
5012	7665	
4939	7369	
-	7812	
	8306	
	7796	
5970	7381	Průměr
5292	7105	95% interval spolehlivosti
6648	7656	
678	276	Chyba

Vliv změny relativní vlhkosti na výši paropropustnosti textilie 2.

1	2	
t = 23°C	t = 23°C	
RH=40%	RH=50%	
7344	5565	
7589	6489	
6849	5874	
6791	5111	
7143	5928	
7158	6069	
4686	6311	<u>Textilie 2</u>
4485	7180	
4746	6529	
4898	3873	
5012	5240	
4939	3677	
5970	5654	Průměr
5292	5086	95% interval spolehlivosti
6648	6221	
678	568	Chyba

Vliv změny teploty na výši paropropustnosti textilie 3.

1	2	
t = 23°C RH=40%	t = 35°C RH=40%	
5247	4688	
5084	4414	
5222	4738	
4878	8822	
5964	5789	
5219	5830	
7089	10882	
7033	11280	
7579	10551	<u>Textilie 3</u>
8115	10385	
7846	10404	
7987	10336	
-	10708	
	10327	
	10694	
6439	8657	Průměr
5743	7345	95% interval spolehlivosti
7134	9968	
696	1312	Chyba

Vliv změny relativní vlhkosti na výši paropropustnosti textilie 3.

1	2	
t = 23°C	t = 23°C	
RH=40%	RH=50%	
5247	11963	
5084	4514	
5222	3960	
4878	11159	
5964	4325	
5219	4043	
7089	5424	
7033	4729	
7579	4810	<u>Textilie 3</u>
8115	5582	
7846	5827	
7987	5981	
6439	6026	Průměr
5743	4577	95% interval spolehlivosti
7134	7476	
696	1449	Chyba

Vliv změny teploty na výši paropropustnosti textilie 4.

1	2	
t = 23°C RH=40%	t = 35°C RH=40%	
7804	7139	
8103	7293	
7557	7819	
7597	7482	
6922	7440	
7477	8024	
7727	11570	
7805	10699	<u>Textilie 4</u>
7816	12353	
7221	11321	
7059	11630	
7289	11820	
-	11062	
	11354	
	10961	
7531	9864	Průměr
7341	8879	95% interval spolehlivosti
7721	10849	
190	985	Chyba

Vliv změny relativní vlhkosti na výši paropropustnosti textilie 4.

1	2	
t = 23°C RH=40%	t = 23°C RH=50%	
7804	7198	
8103	6700	
7557	5202	
7597	5698	
6922	5916	
7477	5578	<u>Textilie 4</u>
7727	7915	
7805	7126	
7816	6830	
7221	6492	
7059	6341	
7289	6491	
7531	6457	Průměr
7341	6039	95% interval spolehlivosti
7721	6875	
190	418	Chyba